

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s) : Tadashi ISHIKAWA et al.
Serial No. : 10/576,224
Filing Date : April 13, 2006
For : LARGE-HEAT-INPUT BUTT WELDED JOINTS HAVING
EXCELLENT BRITTLE FRACTURE RESISTANCE
Examiner : Jason L. Savage
Group Art Unit : 1794
Confirmation No. : 9443

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

DECLARATION UNDER 37 C.F.R. §1.132

I, Tadashi Ishikawa, hereby declare and state as follows:

1. I am a co-inventor of the above-identified patent application, which has been assigned to Nippon Steel Corporation, Tokyo, Japan. I have been employed by Nippon Steel Corporation since 1980, and my current positions are Head, Chief Researcher, and General Manager of Plate, Pipe, Tube and Shape Research Laboratories; and General Managers of Plate Division, and Pipe and Tube Division. I'm also a visiting professor of mechanical engineering at Nagasaki Institute of Applied Science, Japan, and a Fellow of the Japan Welding Society. I graduated from Cambridge University, United Kingdom, with a Ph.D. degree in Materials Science & Metallurgy, Physics & Chemistry in 1990.

2. I have reviewed the Office Action mailed April 29, 2009, the Advisory Action mailed December 23, 2009, and the reference cited therein, *i.e.*, JP2001-73071 ("Yoshiyuki") in view of JP3-153828 ("Shigeru"), JP2001-001148 ("Tomomasa"), and JP 2002-161329 ("Hasegawa"). I have also reviewed the specification and the pending claims of the present application.

3. I understand that the Examiner is of the opinion that (i) Yoshiyuki discloses a welded joint of thick steel plates of 50 mm or more, and that although Yoshiyuki discloses that the difference between the hardness of the heat affected zone (HAZ) and the base metal is small, it is known in the art to regulate a small hardness difference between the weld metal and HAZ; (ii) Shigeru or Tomomasa discloses limiting the thickness of the welded portion to much smaller than the thickness of the plates; and (iii) Hasegawa discloses a grain size of prior austenite in the HAZ of not more than 200 micrometers.

4. The present invention provides a large-heat-input butt-welded joint of high strength steel plates over 50 mm in thickness. In the welded joint of the invention, the hardness of the weld metal is controlled to 70% to 110% of the hardness of the base metal. As is understood in the art, "large-heat-input welding" refers to a welding process having a heat input of at least about 50 kJ/cm, whereas "small-heat-input welding" refers to a welding process having a heat input of about 50 or less kJ/cm. For example, according to Structural Steel by Shuzou Ueda, published in 1987 by Corporation of Japanese Steel Association,

[w]elding heat-input, H.I.(kJ/cm) is a function of welding
current I (A), arc voltage E(V) and welding velocity
v(cm/min) and expressed as $H.I. = 60 \times I \times E / v$. It is often called
large heat-input in case heat-input is not less than 50,000J/cm

(p. 53, Footnote*1; copy attached herewith as Exhibit A). Fig. 5.3.2 of New Structural Steel Plate and Its Property, published in 1981 by Japanese Structural Steel Association (ISSC), also shows heat-input which distinguishes the vTrs of the bonding part of the large heat-input welding steel from that of the general steel is about 50 kJ/cm (p. 113, Fig. 5.3.2; copy attached herewith as Exhibit B). A translation of Fig. 5.3.2 is provided below:

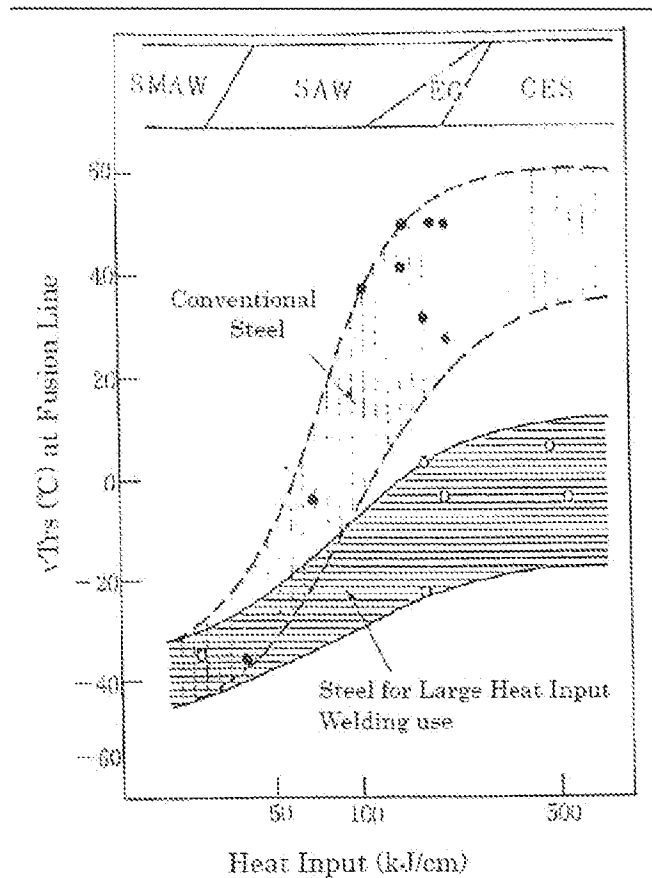


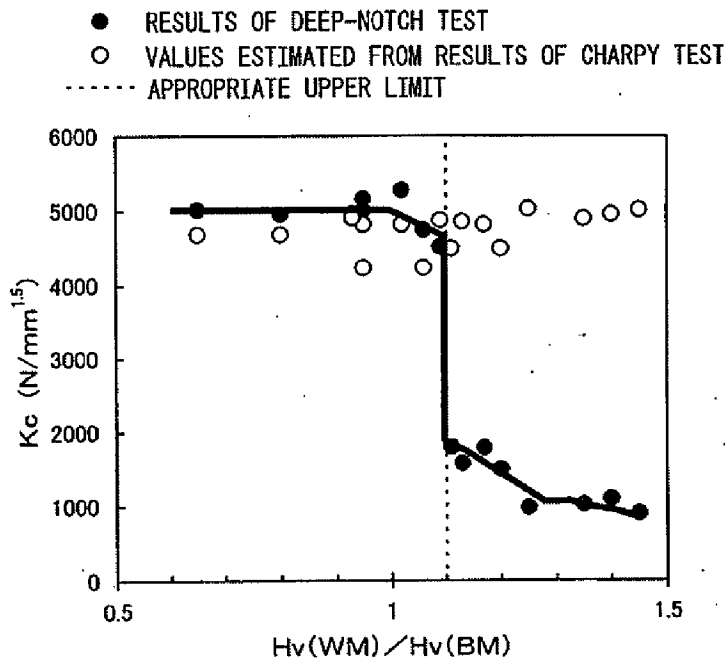
Fig. 5.3.2. The relation between heat-input and $vTrs$ of bonding part for HT-50 having yield stress of 32 kgf/mm^2

Thus, a person of ordinary skill in the art would understand that the border of heat-input between large heat-input welding and small heat-input welding is about 50 kJ/cm.

In small-heat-input welding, cooling of the welded joint is fast, resulting in rapid hardening of the HAZ. In contrast, in large-heat-input welding, cooling of the welded joint is much slower. As a result, the HAZ in a welded joint produced by large-heat-input welding has a coarser micro-structure as compared to the HAZ in a welded joint produced by small-heat-input welding, leading to a lower HAZ hardness. My co-inventors and I have discovered that conventional large-heat-input welded joints of high strength steel plates of over 50 mm in thickness suffers from low fracture toughness despite having excellent Charpy values. After intensive investigation, we have discovered that the low fracture toughness is due in part to local stress caused by the hardness difference between the weld metal and the

base metal, with higher local stress for higher hardness of the weld metal. We have also discovered that fracture resistance can be significantly improved by controlling, *inter alia*, the hardness of the weld metal to no higher than 110% of the hardness of the base metal. The criticality of controlling the hardness of the weld metal to no higher than 110% of the hardness of the base metal can be seen from Figure 1 of the application, which is reproduced below. As Figure 1 shows, fracture toughness K_{Ic} drops sharply when the hardness of the weld metal reaches 110% of the hardness of the base metal.

Fig. 1



5. The primary reference, Yoshiyuki, discloses a steel composition devised to provide a base metal that softens only marginally when affected by the weld heat resulting in a small hardness difference between the base metal and the HAZ, thereby improving the fatigue strength and reducing the occurrence of stress-corrosion-cracking. However, Yoshiyuki does not disclose a high strength steel plate of 50 mm thick or more or producing a welded joint using large-heat-input welding. Nor does Yoshiyuki disclose the low fracture toughness problem associated with a conventional large-heat-input welded joint of high strength steel plates over 50 mm in thickness, or controlling, *inter alia*, the hardness of the

weld metal to no higher than 110% of the hardness of the base metal to achieve excellent brittle fracture resistance.

Regarding steel plate thickness, Yoshiyuki discloses in ¶ [0037] that

for the steel plate of 50 mm or less of board thickness the JIS No. 5 test piece is used for tensile test to a rolling direction and rectangular direction, for the steel plate of 50 mm or more of board thickness the JIS No. 4 round bar test piece which is extracted from ¼ board thickness position is used for tensile test.

As shown in Table 2 on page 438 of Japanese Industrial Standard JIS Z2201:1998, entitled “Test Pieces for Tensile Test for Metallic Material” (copy attached herewith as Exhibit C), a No. 5 test piece is used for a material of 6 mm up to and including 20 mm in thickness, and a No. 4 test piece is used for a material of 20 mm up to and including 40 mm in thickness. Accordingly, a person skilled in the art would have recognized that the reference in ¶ [0037] to “50 mm” is an error, which should be “20 mm” instead. The fact that all examples in Yoshiyuki have a thickness of 50 mm or less further supports this conclusion.

Regarding welding heat input, Yoshiyuki discloses that

in order to investigate the hardness difference of a heat affected zone and a base material, it is based on the maximum hardness test method of the heat affected zone specified to JIS Z3101.

According to Section 3.6 on page 2 of Japanese Industrial Standard JIS Z3101-1972, entitled “Testing Method of Maximum Hardness in Weld Heat-Affected-Zone” (copy attached herewith as Exhibit D), “the welding condition shall, as a rule, conform to the following: welding current 170 ± 10 A, welding speed 15 ± 1 cm/min.” Although JIS Z3101 does not explicitly describe welding voltage, it is well known to a person skilled in the art that the welding voltage is 250 V. Therefore, the welding heat input in Yoshiyuki is 17 kJ/cm, which is small-heat-input welding.

The structural difference between the welded joints of Yoshiyuki and the present invention as a result of factors such as the difference in welding heat input can be seen clearly by a comparison of the hardness of the HAZ. In Yoshiyuki’s welded joint, the hardness of the HAZ is similar to the hardness of the base metal, as shown by the experimental data presented in Table 3 of Yoshiyuki. A partial translation of Table 3 is shown below:

Partial translation of Table 3 of Yoshiyuki

steel		thickness (mm)	base metal hardness	HAZ hardness	
				maximum value	minimum value
I n v e n t i o n	1	25	222	214	228
	2	20	231	225	233
	3	40	227	221	236
	4	25	242	236	244
	5	32	241	235	247
	6	50	217	214	225
	7	25	229	222	231

In contrast, as can be seen from the table below, which provides hardness data of HAZ for the examples listed in Table 1 of the present application, in the large-heat-input welded joint of the present invention, due to HAZ softening, the hardness of the HAZ (see, the column identified by heading Hv(HAZmin)) is much lower than the hardness of the base metal (see, the column identified by heading Hv(BM)).

No.1	Hv(BM)	Hv(WM)	Hv(WM)/ Hv(BM)	Width of Softened Region in HAZ	Hv(HAZmin)	Difference in Hv between BM and HAZ	Difference in Hv between HAZ and WM	Hvmax at Welded Joint (Hardest Location)
1	202	212	1.05	12	161	41	51	212(WM)
2	204	200	0.98	15	150	54	50	204(BM)
3	210	151	0.72	13	170	40	19	210(BM)
4	205	226	1.10	15	152	53	74	226(WM)
5	175	186	1.06	18	152	23	34	186(WM)
6	215	204	0.95	16	170	45	34	215(BM)
7	210	208	0.99	7	172	38	36	210(BM)
8	200	206	1.03	17	152	48	54	206(WM)
9	195	205	1.05	8	175	20	30	205(WM)
10	210	227	1.08	11	180	30	47	227(WM)
11	204	222	1.09	8	181	23	41	222(WM)
12	183	134	0.73	12	150	33	16	183(BM)
13	210	200	0.95	13	163	47	37	210(BM)
14	210	208	0.99	3	190	20	18	210(BM)
15	205	133	0.65	15	163	42	30	205(BM)
16	220	224	1.02	18	186	34	38	224(WM)
17	215	204	0.95	16	182	33	22	215(BM)
18	202	265	1.31	12	180	22	85	265(WM)
19	204	235	1.15	15	171	33	64	235(WM)
20	210	256	1.23	13	170	40	88	256(WM)
21	204	235	1.15	15	162	42	73	235(WM)
22	210	258	1.23	13	155	55	103	258(WM)

6. None of the secondary references discloses controlling the hardness of the weld metal to no higher than 110% of the hardness of the base metal to achieve excellent brittle fracture resistance in a large-heat-input welded joint of high strength steel plate of 50 mm thick or more. As the table below shows, each of these references discloses welded joints of steel plates of no more than 50 mm thick and/or produced by small-heat-input.

	Shigeru	Tomomasa	Hasegawa
Plate thickness	6-25 mm (table 2)	50 -200 mm ([0042])	45 mm ([0065])
Heat input	15-40 kJ/cm (table 2)	10-40 kJ/cm ([0042])	20 kJ/mm ([0065]) [§]

[§]This heat input corresponds to 200 kJ/cm.

7. Based on the above discussion, it is my opinion that the cited references would not have led one of ordinary skill in the art to the welded joint of the present invention.

* * *

I hereby declare that all statements made herein of my own knowledge are true, and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code, and that such willful false statements may jeopardize the validity of the patent or any reexamination certificate issued.

Respectfully submitted,

26 May 2010
Date


Tadashi ISHIKAWA

Enclosures:

Exhibit A
Exhibit B
Exhibit C
Exhibit D

EXHIBIT A

社団法人
日本鉄鋼協会
監修

選書 | 鉄鋼技術の流れ
第1シリーズ

⑨

構造用鋼の溶接

低合金鋼の諸性質とメタラジー

上田修三 著

地人書館

鋼材はおよそ国産であり、通名な文献でさえ紙数の制限や内容の重複回避のためしばしば割愛させていただいた。また、学術書であることを意識して、特別の場合を除き、鋼材の商標名や技術の各社独自の名称を用いることを控えている。また、全体的には体裁と用語の統一を図る配慮をしたが、鋼材の強度水準などの呼称や技術データに用いられる単位は、時代時代に用いられてきたものを使用する方が混乱が少ないと判断し、過去のものは文脈とおりとし、近年のものは単位を統一した。

書き終ってみて、歴史学者曰く「歴史は私たちが思い描く過去へ連れ戻すのではなく、過去を語りながら、現在が未来へ食いつんでいく。その先頭に立たせてくれる」の言葉どおり、鉄鋼材料の歴史ともいえる選種メタラジと特許の深遠さに感動し、まだまだ究明すべき事柄が多く残され、新製品開発へのブレイクスルーが期待できることを改めて認識した。2010年以降、我が国において高度経済成長期に建造された構造物が40～50年を経たリプレースの時期を迎える。既存構造物の寿命延長のための研究と同時に、高強度で長寿命の、さらには新しい時代に相応しいエコマテリアルの思想をも反映した環境調和型の新世紀構造物材料の開発の歩みも高まっている。より堅強なもの、より新しいもの、より実用なものへの挑戦に当たって、本書を有効にご活用いただければ幸甚である。

なおここで、本書のご高関を賜った大阪大学名誉教授 前(社)溶接学会会長 向井嘉彦氏に厚甚の謝意を表する次第である。

意味で難儀であったが、非常に有意義な仕事を成就することができた。本書執筆の機会を与えていただき、今日まで温かく見守って下さった(社)日本鉄鋼協会常務委員会の各位ならびに筆者の依頼する川崎製鉄株式会社長江本寛治氏に心からお礼申し上げる。

1996年9月

上田修三

本書「鉄鋼技術のあれ」発行にあたって 3

序 5

1. 総 論	13
1.1 鋼構造物への溶接適用の歴史	13
1.1.1 鉄・びん結合構造時代——炭素鋼高張力鋼の普及	13
1.1.2 溶接溶接法適用の始まり	14
1.1.3 高張力鋼への溶接の適用	18
1.2 溶接構造適用の研究開発の歩み	24
1.2.1 戦前～戦後期の技術の開発動向	24
1.2.2 社会情勢の変化——鉄鋼業・造船業の発展	29
1.2.3 高度経済成長期以降のわが国の開発動向	42
2. 溶接構造適用の進歩と溶接部特性	49
2.1 船 舶	49
2.1.1 鋼船用高張力鋼	49
2.1.2 深海中継耐圧船用高張力鋼	55
2.2 圧力容器・水圧装置	60
2.2.1 圧力容器用高張力鋼	60
2.2.2 水圧装置用高張力鋼	63
2.3 低温容器	72
2.3.1 常圧冷凍式LPGタンク用低温用鋼	72
2.3.2 LNGタンク用9%Ni鋼	77
2.4 橋 梁	84
2.4.1 高張力鋼の適用	84
2.4.2 相鉄大橋用TS 780 N/mm ² 級高張力鋼	86
2.5 海洋構造物	88
2.5.1 石油掘削・生産用海洋構造物の種類と歴史	88

2.5.2 寒冷・凍結環境用高張力強靱鋼	92
2.6 石油・ガスラインパイプ	100
2.6.1 高張力高靱力鋼	100
2.6.2 溶接技術	107
2.7 ボイラおよび石油精製装置用圧力容器	110
2.7.1 ボイラドラム用鋼	110
2.7.2 石油精製装置用鋼	114
2.8 建 築	118
2.8.1 高張力鋼と鋼骨の高張力比	118
2.8.2 溶接性改良 T ₅ 490 N/mm ² 級鋼	120
2.8.3 低降伏比 T ₅ 590 N/mm ² 級鋼	121
2.8.4 兵庫県東部地震による鉄骨構造の損傷	124
2.9 原子炉圧力容器	127
2.9.1 原子炉圧力容器用鋼	127
2.9.2 核燃料板の溶接	129
2.10 ロケットモータケース	132
2.10.1 ロケットの製造と使用鋼種	132
2.10.2 モータケースの溶接	137
3. 溶接性関連の諸問題究明の歩み	141
3.1 溶接と低温割れ	141
3.1.1 硬化現象と脆化現象当量式	141
3.1.2 高張力鋼への溶接の適用と割れ問題	153
3.1.3 低温割れ感受性試験法	157
3.1.4 溶接割れ感受性指標	160
3.1.5 低温割れと拘束外力	163
3.1.6 低温割れと水素環境	167
3.1.7 水素脆化の機構	173
3.1.8 低温割れと鋼中非金属夹杂物	175
3.1.9 低温割れと外気温度	177

3.1.10 低温割れ防止策	178
3.1.11 硬化現象	181
3.2 高温割れ	185
3.2.1 高温割れ現象	185
3.2.2 発生機構	186
3.2.3 合金元素および不純物元素の影響	189
3.2.4 溶接応力および拘束付加応力の影響	193
3.2.5 高温割れ防止策	197
3.3 脆 化	200
3.3.1 溶接部の脆化現象	200
3.3.2 溶接ボンド部の微細組織と脆性	207
3.3.3 溶接ボンド部のフェライト粒微細化による脆性改善	214
3.3.4 局状マルテンサイト (M.A.) による脆化	224
3.3.5 N, C, S 量の低減と N 量増加の強硬化効果	232
3.3.6 溶接熱影響部	241
3.3.7 溶接熱処理による脆化	243
3.4 再熱割れ	256
3.4.1 再熱割れ現象	256
3.4.2 発生機構	259
3.4.3 感受性指標	265
3.4.4 割れ防止策	268
3.4.5 肉溶溶接部のアンダークラッド・クラッキング	270
3.5 溶融 Zn めっき割れ	274
3.5.1 高張力鋼のめっき割れ現象	274
3.5.2 評価試験法	277
3.5.3 材料因子	278
3.5.4 発生機構	282
3.5.5 割れ防止策	284
3.6 局部腐食と応力腐食割れ	288
3.6.1 局部腐食現象	288

3.6.2 電力腐食割れ現象一保安、耐燃性、確化物環境	290
3.6.3 LPGタンク溶接部の確化物応力腐食割れ	295
3.6.4 ラインパイプ溶接部の確化物応力腐食割れ	300
3.7 クラック検査	307
3.7.1 クラック検査概要	307
3.7.2 感受性指標	312
3.7.3 評価試験法	315
3.7.4 クラック検査防止策	317
3.8 クリーブ腐化	323
3.8.1 クリーブ腐化現象	323
3.8.2 実機での割れ損傷事故	326
3.8.3 腐化割れの発生機構	327
3.8.4 鋼材組成と応力除去残余応力条件の影響	329
3.8.5 装置のクリーブ腐化解析	333
3.8.6 割れ防止策	334
3.9 ステンレス鋼内部腐蝕部の腐蝕割れ	338
3.9.1 割れ割れ現象	338
3.9.2 割れ防止策	339
3.10 疲労損傷	342
3.10.1 高圧力鋼溶接継手の疲労特性	343
3.10.2 亀裂伝播理論	344
4. 溶接部の安全性評価方法の発達	347
4.1 脆性破壊	347
4.1.1 米国戦時標準船の大損傷事故と鋼板の脆性	347
4.1.2 破壊脆性	348
4.1.3 脆性破壊発生特性試験法	352
4.1.4 脆性破壊応じ特性試験法	360
4.2 不安定脆性破壊	367
4.3 鋼材の選定	369

5. 溶接方法の開発	375
5.1 汎用溶接溶接方法と溶接材料	375
5.1.1 被覆アーク溶接法	375
5.1.2 グラビティアーク溶接法	378
5.1.3 サブマージアーク溶接法	379
5.1.4 ティグ、ミグ、CO ₂ 、マグアーク溶接法	383
5.1.5 セルフシールドアーク溶接法	385
5.1.6 エレクトロスラグ溶接法	387
5.1.7 エレクトロガスアーク溶接法	389
5.1.8 高能率施工法	389
5.2 わが国の造船業における溶接法の変遷	393
5.3 超高温エネルギー密度熱源溶接法	396
5.3.1 電子ビーム溶接法	396
5.3.2 レーザビーム溶接法	404
参 考 文 献	414
年表、索引、要目、主要記録の題目一覧	417
索 引	418

文 献

- 1) 海軍五十年史編纂委員会編：海軍五十年史，(1962)，p.121〔海報〕
- 2) 岡田實，鈴木忠義：溶接叢書第4巻溶接冶金，(1953)，p.160〔京博〕
- 3) 小倉信和：圧力技術，21 (1963)，p.198，p.270，p.328
- 4) 佐藤厚春編：溶接構造要覧，(1989)，p.221〔黒木出版社〕
- 5) 宮野保太郎：日本製鋼技術，(1961)，p.612
- 6) 志賀千晃：新しい製造法による鋼材 (TMCP鋼) の溶接構造物への適用に関するシンポジウム，(1983)，p.117，〔社〕日本造船学会溶接研究委員会〕
- 7) J.Tamura, C. Ouchi, T. Tanaka and H. Sekise: Thermomechanical Processing of High-Strength Low Alloy Steels, (1988) [Butterworths]
- 8) 志賀千晃：溶接学会誌，66 (1996)，p.210
- 9) 上田修三：鋼構造論文集，1 (1984)，C，p.127
- 10) 野添徳彦，堀田実：圧力技術，16 (1978)，1，p.3
- 11) 土生隆一，宮田政祐，田向隆，関野昌雄：鉄と鋼，64 (1978)，p.1368
- 12) (社)日本溶接協会船舶・鉄構海洋構造物部会編：造船の溶接，(1983)，p.37，p.61〔社〕日本溶接協会〕
- 13) 渡辺栄一：第159・160期西山記念技術講座，(1990)，p.189〔社〕日本鉄鋼協会〕
- 14) (社)日本鉄鋼協会鋼板部会厚板分科会共同研究会：第2版わが国における最近の厚板製造技術の進歩，(1984)，p.272〔社〕日本鉄鋼協会〕
- 15) (社)日本造船学会編：溶接・接合要覧，(1960)，p.870〔丸善〕

2. 溶接構造用鋼の進歩と溶接部特性

2.1 船 舶

2.1.1 商船用高張力鋼

(1) 商船の大型化と高張力鋼の採用

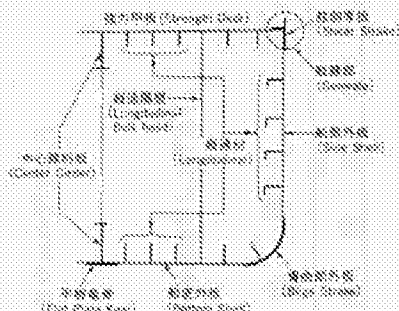
戦後10年が経ち1950年代後半になると，TS 50 kgf/mm²級 (HT 50) および 60 kgf/mm²級 (HT 60) のそれぞれ非調質および調質高張力鋼板が陸上構造物に広く使用されるようになった。しかし，造船用としては，この頃までに概ねを除けば1936年就航の大西洋航路の豪華客船「クイーン・メアリー号」(英)や「ノルマンディ号」(仏)などに使用されたに過ぎなかった。これらの場合も船体の重心を下げて安定性を向上させるために，デリックポストなどにごく部分的に使用されただけで船体主構造には使用されていなかった。つまり商船は軟鋼でつくられるものであった。ところが1960年代に入って載荷重量が15万トン以上のタンカーや甲板に開口部のある鉱石船など，計算板厚が大きくなる船舶が増え，これらに船体重量の軽減に有利な HT 50 鋼が使用され始めた^{1)~4)}。1962年にはわが国で世界に先駆けて，船体主構造に高張力鋼板を適用した大型鉱石船日露丸(4.7万トン)および鉱石・油兼用船 SAN JUAN PIONEER(6.7万トン)が建造された。

ちなみに高張力鋼の商船への適用については，①鋼材使用量の減少，②板厚減少に伴う溶接量などの低減，③載荷重量の増加，④安定性の向上，などが利点とされ，⑤軟鋼に比べて高い単価，⑥溶接時の割れ防止のための予熱などの溶接施工管理，⑦疲労強度の点から極力切欠き部を少なくする設計上および工作上的考慮，⑧腐食予備厚さが軟鋼とほぼ同じであるので，所要板厚の比較的

薄型船舶では高強度鋼の使用による板厚の大きな低減は困難、などが懸念された。

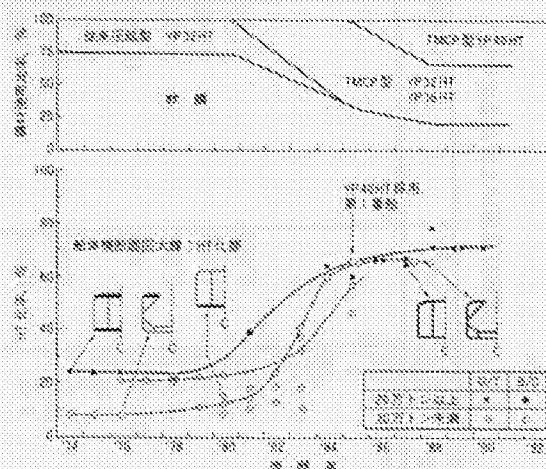
船体構造は自重、積荷、浮力、波浪などの応力を受ける一種の梁と想定でき、大きな曲げ応力のかかる構造部材の主構フランジ部に相当すると考えられた。高強度鋼が船体の場合にまず図2.1*に示される甲板部と船底部の縦張度部材に適用されたのはもっともである。

1960年代後半には32万トン級のタンカー（D/T）が建造され、バルクキャリア（B/C）の大型化も始まり、高強度鋼材が本格的に使用されることになった。1971年には降伏点 YF 32 kgf/mm²および26 kgf/mm²級の2鋼種が国際統一規格として規定された。同年に37万トン級、1973年には42万トン級タンカーが建造される時代となり、高強度鋼が船体鋼板、上甲板鋼板、船底鋼板、艀通隔壁鋼板、Hatch coaming 材およびこれらの鋼板にとりつけられている縦張スティフナ材などに広く用いられるようになった¹⁾。当時25万トン級タンカーでは全鋼材使用量32,000トンの約1/4がHT 50級鋼であった。しかし、1975年頃までの高強度（HT）化率は図2.2*で示されるように低く50%以下であった。高強度鋼は溶接割れ感受性が高く溶接施工効率を低下させるので、



【図2.1】船体骨格の主要部

* 1) 20%のHT化率を規定する必要があったといわれた。TMCP鋼では従来の高強度鋼で置き換えていた鋼種より、下でHT化施工が不要となり、溶接加熱温度の制限も緩和され船体鋼材のHT化の促進が図れた。そのうえ、シートピアと鋼板も鋼材とされたので、その使用による工数節減がなされた。



【図2.2】船体建造での高強度鋼（HT）の使用率の推移*

HT化が必ずしも船舶建造コストの低減につながらなかったことが問題であった。YF 36 kgf/mm²級鋼がYF 32 kgf/mm²級鋼に比べて使用量が伸びなかったのも同様の理由による。

わが国で船体への高強度鋼の使用率が大きく伸びたのは、熱加工制御プロセスTMCPが開発実用化された1980年以降である。1980年代後半にはHT化率はおよそ70%まで上がった。TMCPにより低Ceq化、低P_{eq}化が図られ溶接割れ感受性が図2.3に示されるように著しく改善された。ついでにHT化による溶接施工効率の低下の問題は解消され、HT化が一気に進んだとみられる。船体の重量軽減効果の大きい大型船のみならず、2～3万トン級のハンディ・バルクのような小型船にも高強度鋼板が使用されるようになった。また上甲板やHatch coaming部などの高強度部材としてはYF 32 kgf/mm²級鋼に替わって、TMCP型YF 36 kgf/mm²級鋼、さらに1985年以降TMCP型YF 40 kgf/mm²級鋼が使用されるに至った。図2.2に示されるように1980年代後半

季の上向き熱内造強部で発生する低周割れを回避（クラックフリー化）するための方策として、鋼板の低 C_{eq} 化が図られ、ついでには換ならし後の加速冷却やSlack quenchといった熱処理技術で鋼材強度を補償することが試みられていた。材質の均一性や歪の問題、さらに造船材にふさわしい経済的プロセスといった点で困難が多かった。一方サイバインドで威力を発揮する熱源圧延(CR)技術の造船材への応用については、造船材が鍛造鋼であるがゆえに、CRが圧延率を低下させるプロセスであることや無理な変量が圧延機とくにハグリングの寿命を短くすることなど多くの問題点が指摘された。しかし造船材にとってCR技術の魅力は大きく、圧延機能力の余裕を見出して1970年代中頃には次第にCR製造船材が増加した。この場合にとられた新しい組成設計、すなわち C_{eq} の低減は図2.3にみられる低周割れ抑制に寄与するばかりでなく、大人熱溶接熱影響部の靱性をも向上させるものであった。しかし後者についての効果は満足なものでもなく、1970年代に入るとエレクトロスラッグ溶接をもちいた大熱溶接熱影響部の組織と靱性に関する基礎的研究が活発に行われた。最終TIGの利用や亜土類元素REと互の複合添加によりRAZの組織を細粒化し靱性を確保した新製品が開発され実用化された。従来鋼の特性範囲と新材料の安全性評価については当時長年にわたって（社）日本造船研究協会に組織された学識経験者、造船会社、製鉄会社などの技術者からなる委員会（通称SR委員会）で討論された。破壊靱性の観点から新製品の優秀性が確認された初期のものであった。

なお大人熱溶接用鋼に関する具体的な研究内容については、3.3.3項に詳述している。製鉄会社による大人熱溶接に耐する船体用高強度鋼の特許を得た製品化により、我が国の造船会社では高強度鋼の大幅な採用と施工の高効率化が進んだ。1980年代以降のTMCP技術の登場がさらなる C_{eq} の低減を可能にして、図2.3に示す割渡割れ性の改善に加えて大人熱溶接部の靱性の向上に貢献をもたらしたといえる（3.3.3項(2)参照）。今日、日本海事協会規格として

YS 380 N/mm² 降伏鋼 KA 40 ~ KF 40（表4.4参照）が定められ汎用されている^{*}。

2.1.2 深海潜水艇用圧力殻用高強度鋼

1960年代に入ってから我が国では深海開発を軍事力や宇宙開発と並ぶ一大科学事業と位置づけ、無尽蔵の鉱物ならびに水産資源を開発するにあたって、まず1964年資源開発高圧調査船「よみうり号」（潜航深度300 m、排水量35トン）が、続いて1969年大陸棚開発用潜水調査船「しんかい」（潜水深度600 m、排水量35トン）が建造された^{*}。

潜水艇の耐圧殻材料には、①大きき外圧と浮力の関係から浮力に対する船体重量の比を強力小さく、材料としては比強度すなわち降伏点/比重が大きいこと、②海水環境での応力腐食抵抗が大きいこと、③靱性が高いこと、④低サイクル疲労強度が高いこと、などの特性が求められる。前記の2船には①~④を兼ねた潜水艇などで実績の多い防衛庁規格 NS 46 鋼板（1960年開発の YP 46 kgf/mm² 保証の YS 60 kgf/mm² 鋼質高強度力強鋼）が使用された^{**}。

本国では1964年建造の潜水深度1200 m の HY 100 鋼（ALVIN）、1968年建造の潜水深度1300 m の HY 140 鋼（DSRV）（潜水艦救助艇）および1967年建造の潜水深度2400 m の 18% Ni フレージング鋼（DEEP QUEST）が有名である^{***}。

ここで HY 100 および HY 140 はそれぞれ YS100 ksi および 140 ksi 保証の高降伏点強鋼であり、1958年から実用されるようになった HY 80 や後年開発された HY 130 と呼ばれる鋼種とともに本国の新機軸用高強度鋼である。いわゆる Emergency Use または Arresting Use の考え方に基づき、高い降伏点に加えて低温での高い切欠き靱性を兼ねている。我が国でのこれらに相当する鋼種には、戦後の最初の潜水艇「おやしお」に採用された NS 30 に始まり、前記の NS 46、これより高強度の鋼材では1967年から実用の NS 63、1975年から実用の NS 80、さらに1981年に完成された2000 m 級高度学術調査用深海潜水艇「しんかい 2000」に使用の NS 90 がある^{****}。また現在 YS

*1 「社）日本造船研究協会」第147 研究報告「新機軸高圧調査船大人熱溶接鋼の靱性破壊機構に関する研究」(1993) ~ (1995 年度)。

※ 上 第155 研究報告「日立タチノード新機軸大人熱溶接鋼の耐熱破壊機構」の報告(調査に関する研究)(1994 ~ 1995 年度)。

※ 上 第165 研究報告「新機軸高圧調査船による24 万トン級高圧力鋼の応力利用に関する研究」(1993 ~ 1995 年度)。

*2 上とほぼ同じ鋼種（鋼厚 15 ~ 30mm）の場合を比較して NS 63 140 ksi 保証と NS 63 130 ksi 保証（19% Ni）と NS 63 120 ksi 保証（18% Ni）と NS 63 110 ksi 保証（17% Ni）と NS 63 100 ksi 保証（16% Ni）と NS 63 90 ksi 保証（15% Ni）と NS 63 80 ksi 保証（14% Ni）と NS 63 70 ksi 保証（13% Ni）と NS 63 60 ksi 保証（12% Ni）と NS 63 50 ksi 保証（11% Ni）と NS 63 40 ksi 保証（10% Ni）と NS 63 30 ksi 保証（9% Ni）と NS 63 20 ksi 保証（8% Ni）と NS 63 10 ksi 保証（7% Ni）と NS 63 5 ksi 保証（6% Ni）と NS 63 0 ksi 保証（5% Ni）と NS 63 -5 ksi 保証（4% Ni）と NS 63 -10 ksi 保証（3% Ni）と NS 63 -15 ksi 保証（2% Ni）と NS 63 -20 ksi 保証（1% Ni）と NS 63 -25 ksi 保証（0% Ni）と NS 63 -30 ksi 保証（-1% Ni）と NS 63 -35 ksi 保証（-2% Ni）と NS 63 -40 ksi 保証（-3% Ni）と NS 63 -45 ksi 保証（-4% Ni）と NS 63 -50 ksi 保証（-5% Ni）と NS 63 -55 ksi 保証（-6% Ni）と NS 63 -60 ksi 保証（-7% Ni）と NS 63 -65 ksi 保証（-8% Ni）と NS 63 -70 ksi 保証（-9% Ni）と NS 63 -75 ksi 保証（-10% Ni）と NS 63 -80 ksi 保証（-11% Ni）と NS 63 -85 ksi 保証（-12% Ni）と NS 63 -90 ksi 保証（-13% Ni）と NS 63 -95 ksi 保証（-14% Ni）と NS 63 -100 ksi 保証（-15% Ni）と NS 63 -105 ksi 保証（-16% Ni）と NS 63 -110 ksi 保証（-17% Ni）と NS 63 -115 ksi 保証（-18% Ni）と NS 63 -120 ksi 保証（-19% Ni）と NS 63 -125 ksi 保証（-20% Ni）と NS 63 -130 ksi 保証（-21% Ni）と NS 63 -135 ksi 保証（-22% Ni）と NS 63 -140 ksi 保証（-23% Ni）と NS 63 -145 ksi 保証（-24% Ni）と NS 63 -150 ksi 保証（-25% Ni）と NS 63 -155 ksi 保証（-26% Ni）と NS 63 -160 ksi 保証（-27% Ni）と NS 63 -165 ksi 保証（-28% Ni）と NS 63 -170 ksi 保証（-29% Ni）と NS 63 -175 ksi 保証（-30% Ni）と NS 63 -180 ksi 保証（-31% Ni）と NS 63 -185 ksi 保証（-32% Ni）と NS 63 -190 ksi 保証（-33% Ni）と NS 63 -195 ksi 保証（-34% Ni）と NS 63 -200 ksi 保証（-35% Ni）と NS 63 -205 ksi 保証（-36% Ni）と NS 63 -210 ksi 保証（-37% Ni）と NS 63 -215 ksi 保証（-38% Ni）と NS 63 -220 ksi 保証（-39% Ni）と NS 63 -225 ksi 保証（-40% Ni）と NS 63 -230 ksi 保証（-41% Ni）と NS 63 -235 ksi 保証（-42% Ni）と NS 63 -240 ksi 保証（-43% Ni）と NS 63 -245 ksi 保証（-44% Ni）と NS 63 -250 ksi 保証（-45% Ni）と NS 63 -255 ksi 保証（-46% Ni）と NS 63 -260 ksi 保証（-47% Ni）と NS 63 -265 ksi 保証（-48% Ni）と NS 63 -270 ksi 保証（-49% Ni）と NS 63 -275 ksi 保証（-50% Ni）と NS 63 -280 ksi 保証（-51% Ni）と NS 63 -285 ksi 保証（-52% Ni）と NS 63 -290 ksi 保証（-53% Ni）と NS 63 -295 ksi 保証（-54% Ni）と NS 63 -300 ksi 保証（-55% Ni）と NS 63 -305 ksi 保証（-56% Ni）と NS 63 -310 ksi 保証（-57% Ni）と NS 63 -315 ksi 保証（-58% Ni）と NS 63 -320 ksi 保証（-59% Ni）と NS 63 -325 ksi 保証（-60% Ni）と NS 63 -330 ksi 保証（-61% Ni）と NS 63 -335 ksi 保証（-62% Ni）と NS 63 -340 ksi 保証（-63% Ni）と NS 63 -345 ksi 保証（-64% Ni）と NS 63 -350 ksi 保証（-65% Ni）と NS 63 -355 ksi 保証（-66% Ni）と NS 63 -360 ksi 保証（-67% Ni）と NS 63 -365 ksi 保証（-68% Ni）と NS 63 -370 ksi 保証（-69% Ni）と NS 63 -375 ksi 保証（-70% Ni）と NS 63 -380 ksi 保証（-71% Ni）と NS 63 -385 ksi 保証（-72% Ni）と NS 63 -390 ksi 保証（-73% Ni）と NS 63 -395 ksi 保証（-74% Ni）と NS 63 -400 ksi 保証（-75% Ni）と NS 63 -405 ksi 保証（-76% Ni）と NS 63 -410 ksi 保証（-77% Ni）と NS 63 -415 ksi 保証（-78% Ni）と NS 63 -420 ksi 保証（-79% Ni）と NS 63 -425 ksi 保証（-80% Ni）と NS 63 -430 ksi 保証（-81% Ni）と NS 63 -435 ksi 保証（-82% Ni）と NS 63 -440 ksi 保証（-83% Ni）と NS 63 -445 ksi 保証（-84% Ni）と NS 63 -450 ksi 保証（-85% Ni）と NS 63 -455 ksi 保証（-86% Ni）と NS 63 -460 ksi 保証（-87% Ni）と NS 63 -465 ksi 保証（-88% Ni）と NS 63 -470 ksi 保証（-89% Ni）と NS 63 -475 ksi 保証（-90% Ni）と NS 63 -480 ksi 保証（-91% Ni）と NS 63 -485 ksi 保証（-92% Ni）と NS 63 -490 ksi 保証（-93% Ni）と NS 63 -495 ksi 保証（-94% Ni）と NS 63 -500 ksi 保証（-95% Ni）と NS 63 -505 ksi 保証（-96% Ni）と NS 63 -510 ksi 保証（-97% Ni）と NS 63 -515 ksi 保証（-98% Ni）と NS 63 -520 ksi 保証（-99% Ni）と NS 63 -525 ksi 保証（-100% Ni）と NS 63 -530 ksi 保証（-101% Ni）と NS 63 -535 ksi 保証（-102% Ni）と NS 63 -540 ksi 保証（-103% Ni）と NS 63 -545 ksi 保証（-104% Ni）と NS 63 -550 ksi 保証（-105% Ni）と NS 63 -555 ksi 保証（-106% Ni）と NS 63 -560 ksi 保証（-107% Ni）と NS 63 -565 ksi 保証（-108% Ni）と NS 63 -570 ksi 保証（-109% Ni）と NS 63 -575 ksi 保証（-110% Ni）と NS 63 -580 ksi 保証（-111% Ni）と NS 63 -585 ksi 保証（-112% Ni）と NS 63 -590 ksi 保証（-113% Ni）と NS 63 -595 ksi 保証（-114% Ni）と NS 63 -600 ksi 保証（-115% Ni）と NS 63 -605 ksi 保証（-116% Ni）と NS 63 -610 ksi 保証（-117% Ni）と NS 63 -615 ksi 保証（-118% Ni）と NS 63 -620 ksi 保証（-119% Ni）と NS 63 -625 ksi 保証（-120% Ni）と NS 63 -630 ksi 保証（-121% Ni）と NS 63 -635 ksi 保証（-122% Ni）と NS 63 -640 ksi 保証（-123% Ni）と NS 63 -645 ksi 保証（-124% Ni）と NS 63 -650 ksi 保証（-125% Ni）と NS 63 -655 ksi 保証（-126% Ni）と NS 63 -660 ksi 保証（-127% Ni）と NS 63 -665 ksi 保証（-128% Ni）と NS 63 -670 ksi 保証（-129% Ni）と NS 63 -675 ksi 保証（-130% Ni）と NS 63 -680 ksi 保証（-131% Ni）と NS 63 -685 ksi 保証（-132% Ni）と NS 63 -690 ksi 保証（-133% Ni）と NS 63 -695 ksi 保証（-134% Ni）と NS 63 -700 ksi 保証（-135% Ni）と NS 63 -705 ksi 保証（-136% Ni）と NS 63 -710 ksi 保証（-137% Ni）と NS 63 -715 ksi 保証（-138% Ni）と NS 63 -720 ksi 保証（-139% Ni）と NS 63 -725 ksi 保証（-140% Ni）と NS 63 -730 ksi 保証（-141% Ni）と NS 63 -735 ksi 保証（-142% Ni）と NS 63 -740 ksi 保証（-143% Ni）と NS 63 -745 ksi 保証（-144% Ni）と NS 63 -750 ksi 保証（-145% Ni）と NS 63 -755 ksi 保証（-146% Ni）と NS 63 -760 ksi 保証（-147% Ni）と NS 63 -765 ksi 保証（-148% Ni）と NS 63 -770 ksi 保証（-149% Ni）と NS 63 -775 ksi 保証（-150% Ni）と NS 63 -780 ksi 保証（-151% Ni）と NS 63 -785 ksi 保証（-152% Ni）と NS 63 -790 ksi 保証（-153% Ni）と NS 63 -795 ksi 保証（-154% Ni）と NS 63 -800 ksi 保証（-155% Ni）と NS 63 -805 ksi 保証（-156% Ni）と NS 63 -810 ksi 保証（-157% Ni）と NS 63 -815 ksi 保証（-158% Ni）と NS 63 -820 ksi 保証（-159% Ni）と NS 63 -825 ksi 保証（-160% Ni）と NS 63 -830 ksi 保証（-161% Ni）と NS 63 -835 ksi 保証（-162% Ni）と NS 63 -840 ksi 保証（-163% Ni）と NS 63 -845 ksi 保証（-164% Ni）と NS 63 -850 ksi 保証（-165% Ni）と NS 63 -855 ksi 保証（-166% Ni）と NS 63 -860 ksi 保証（-167% Ni）と NS 63 -865 ksi 保証（-168% Ni）と NS 63 -870 ksi 保証（-169% Ni）と NS 63 -875 ksi 保証（-170% Ni）と NS 63 -880 ksi 保証（-171% Ni）と NS 63 -885 ksi 保証（-172% Ni）と NS 63 -890 ksi 保証（-173% Ni）と NS 63 -895 ksi 保証（-174% Ni）と NS 63 -900 ksi 保証（-175% Ni）と NS 63 -905 ksi 保証（-176% Ni）と NS 63 -910 ksi 保証（-177% Ni）と NS 63 -915 ksi 保証（-178% Ni）と NS 63 -920 ksi 保証（-179% Ni）と NS 63 -925 ksi 保証（-180% Ni）と NS 63 -930 ksi 保証（-181% Ni）と NS 63 -935 ksi 保証（-182% Ni）と NS 63 -940 ksi 保証（-183% Ni）と NS 63 -945 ksi 保証（-184% Ni）と NS 63 -950 ksi 保証（-185% Ni）と NS 63 -955 ksi 保証（-186% Ni）と NS 63 -960 ksi 保証（-187% Ni）と NS 63 -965 ksi 保証（-188% Ni）と NS 63 -970 ksi 保証（-189% Ni）と NS 63 -975 ksi 保証（-190% Ni）と NS 63 -980 ksi 保証（-191% Ni）と NS 63 -985 ksi 保証（-192% Ni）と NS 63 -990 ksi 保証（-193% Ni）と NS 63 -995 ksi 保証（-194% Ni）と NS 63 -1000 ksi 保証（-195% Ni）と NS 63 -1005 ksi 保証（-196% Ni）と NS 63 -1010 ksi 保証（-197% Ni）と NS 63 -1015 ksi 保証（-198% Ni）と NS 63 -1020 ksi 保証（-199% Ni）と NS 63 -1025 ksi 保証（-200% Ni）と NS 63 -1030 ksi 保証（-201% Ni）と NS 63 -1035 ksi 保証（-202% Ni）と NS 63 -1040 ksi 保証（-203% Ni）と NS 63 -1045 ksi 保証（-204% Ni）と NS 63 -1050 ksi 保証（-205% Ni）と NS 63 -1055 ksi 保証（-206% Ni）と NS 63 -1060 ksi 保証（-207% Ni）と NS 63 -1065 ksi 保証（-208% Ni）と NS 63 -1070 ksi 保証（-209% Ni）と NS 63 -1075 ksi 保証（-210% Ni）と NS 63 -1080 ksi 保証（-211% Ni）と NS 63 -1085 ksi 保証（-212% Ni）と NS 63 -1090 ksi 保証（-213% Ni）と NS 63 -1095 ksi 保証（-214% Ni）と NS 63 -1100 ksi 保証（-215% Ni）と NS 63 -1105 ksi 保証（-216% Ni）と NS 63 -1110 ksi 保証（-217% Ni）と NS 63 -1115 ksi 保証（-218% Ni）と NS 63 -1120 ksi 保証（-219% Ni）と NS 63 -1125 ksi 保証（-220% Ni）と NS 63 -1130 ksi 保証（-221% Ni）と NS 63 -1135 ksi 保証（-222% Ni）と NS 63 -1140 ksi 保証（-223% Ni）と NS 63 -1145 ksi 保証（-224% Ni）と NS 63 -1150 ksi 保証（-225% Ni）と NS 63 -1155 ksi 保証（-226% Ni）と NS 63 -1160 ksi 保証（-227% Ni）と NS 63 -1165 ksi 保証（-228% Ni）と NS 63 -1170 ksi 保証（-229% Ni）と NS 63 -1175 ksi 保証（-230% Ni）と NS 63 -1180 ksi 保証（-231% Ni）と NS 63 -1185 ksi 保証（-232% Ni）と NS 63 -1190 ksi 保証（-233% Ni）と NS 63 -1195 ksi 保証（-234% Ni）と NS 63 -1200 ksi 保証（-235% Ni）と NS 63 -1205 ksi 保証（-236% Ni）と NS 63 -1210 ksi 保証（-237% Ni）と NS 63 -1215 ksi 保証（-238% Ni）と NS 63 -1220 ksi 保証（-239% Ni）と NS 63 -1225 ksi 保証（-240% Ni）と NS 63 -1230 ksi 保証（-241% Ni）と NS 63 -1235 ksi 保証（-242% Ni）と NS 63 -1240 ksi 保証（-243% Ni）と NS 63 -1245 ksi 保証（-244% Ni）と NS 63 -1250 ksi 保証（-245% Ni）と NS 63 -1255 ksi 保証（-246% Ni）と NS 63 -1260 ksi 保証（-247% Ni）と NS 63 -1265 ksi 保証（-248% Ni）と NS 63 -1270 ksi 保証（-249% Ni）と NS 63 -1275 ksi 保証（-250% Ni）と NS 63 -1280 ksi 保証（-251% Ni）と NS 63 -1285 ksi 保証（-252% Ni）と NS 63 -1290 ksi 保証（-253% Ni）と NS 63 -1295 ksi 保証（-254% Ni）と NS 63 -1300 ksi 保証（-255% Ni）と NS 63 -1305 ksi 保証（-256% Ni）と NS 63 -1310 ksi 保証（-257% Ni）と NS 63 -1315 ksi 保証（-258% Ni）と NS 63 -1320 ksi 保証（-259% Ni）と NS 63 -1325 ksi 保証（-260% Ni）と NS 63 -1330 ksi 保証（-261% Ni）と NS 63 -1335 ksi 保証（-262% Ni）と NS 63 -1340 ksi 保証（-263% Ni）と NS 63 -1345 ksi 保証（-264% Ni）と NS 63 -1350 ksi 保証（-265% Ni）と NS 63 -1355 ksi 保証（-266% Ni）と NS 63 -1360 ksi 保証（-267% Ni）と NS 63 -1365 ksi 保証（-268% Ni）と NS 63 -1370 ksi 保証（-269% Ni）と NS 63 -1375 ksi 保証（-270% Ni）と NS 63 -1380 ksi 保証（-271% Ni）と NS 63 -1385 ksi 保証（-272% Ni）と NS 63 -1390 ksi 保証（-273% Ni）と NS 63 -1395 ksi 保証（-274% Ni）と NS 63 -1400 ksi 保証（-275% Ni）と NS 63 -1405 ksi 保証（-276% Ni）と NS 63 -1410 ksi 保証（-277% Ni）と NS 63 -1415 ksi 保証（-278% Ni）と NS 63 -1420 ksi 保証（-279% Ni）と NS 63 -1425 ksi 保証（-280% Ni）と NS 63 -1430 ksi 保証（-281% Ni）と NS 63 -1435 ksi 保証（-282% Ni）と NS 63 -1440 ksi 保証（-283% Ni）と NS 63 -1445 ksi 保証（-284% Ni）と NS 63 -1450 ksi 保証（-285% Ni）と NS 63 -1455 ksi 保証（-286% Ni）と NS 63 -1460 ksi 保証（-287% Ni）と NS 63 -1465 ksi 保証（-288% Ni）と NS 63 -1470 ksi 保証（-289% Ni）と NS 63 -1475 ksi 保証（-290% Ni）と NS 63 -1480 ksi 保証（-291% Ni）と NS 63 -1485 ksi 保証（-292% Ni）と NS 63 -1490 ksi 保証（-293% Ni）と NS 63 -1495 ksi 保証（-294% Ni）と NS 63 -1500 ksi 保証（-295% Ni）と NS 63 -1505 ksi 保証（-296% Ni）と NS 63 -1510 ksi 保証（-297% Ni）と NS 63 -1515 ksi 保証（-298% Ni）と NS 63 -1520 ksi 保証（-299% Ni）と NS 63 -1525 ksi 保証（-300% Ni）と NS 63 -1530 ksi 保証（-301% Ni）と NS 63 -1535 ksi 保証（-302% Ni）と NS 63 -1540 ksi 保証（-303% Ni）と NS 63 -1545 ksi 保証（-304% Ni）と NS 63 -1550 ksi 保証（-305% Ni）と NS 63 -1555 ksi 保証（-306% Ni）と NS 63 -1560 ksi 保証（-307% Ni）と NS 63 -1565 ksi 保証（-308% Ni）と NS 63 -1570 ksi 保証（-309% Ni）と NS 63 -1575 ksi 保証（-310% Ni）と NS 63 -1580 ksi 保証（-311% Ni）と NS 63 -1585 ksi 保証（-312% Ni）と NS 63 -1590 ksi 保証（-313% Ni）と NS 63 -1595 ksi 保証（-314% Ni）と NS 63 -1600 ksi 保証（-315% Ni）と NS 63 -1605 ksi 保証（-316% Ni）と NS 63 -1610 ksi 保証（-317% Ni）と NS 63 -1615 ksi 保証（-318% Ni）と NS 63 -1620 ksi 保証（-319% Ni）と NS 63 -1625 ksi 保証（-320% Ni）と NS 63 -1630 ksi 保証（-321% Ni）と NS 63 -1635 ksi 保証（-322% Ni）と NS 63 -1640 ksi 保証（-323% Ni）と NS 63 -1645 ksi 保証（-324% Ni）と NS 63 -1650 ksi 保証（-325% Ni）と NS 63 -1655 ksi 保証（-326% Ni）と NS 63 -1660 ksi 保証（-327% Ni）と NS 63 -1665 ksi 保証（-328% Ni）と NS 63 -1670 ksi 保証（-329% Ni）と NS 63 -1675 ksi 保証（-330% Ni）と NS 63 -1680 ksi 保証（-331% Ni）と NS 63 -1685 ksi 保証（-332% Ni）と NS 63 -1690 ksi 保証（-333% Ni）と NS 63 -1695 ksi 保証（-334% Ni）と NS 63 -1700 ksi 保証（-335% Ni）と NS 63 -1705 ksi 保証（-336% Ni）と NS 63 -1710 ksi 保証（-337% Ni）と NS 63 -1715 ksi 保証（-338% Ni）と NS 63 -1720 ksi 保証（-339% Ni）と NS 63 -1725 ksi 保証（-340% Ni）と NS 63 -1730 ksi 保証（-341% Ni）と NS 63 -1735 ksi 保証（-342% Ni）と NS 63 -1740 ksi 保証（-343% Ni）と NS 63 -1745 ksi 保証（-344% Ni）と NS 63 -1750 ksi 保証（-345% Ni）と NS 63 -1755 ksi 保証（-346% Ni）と NS 63 -1760 ksi 保証（-347% Ni）と NS 63 -1765 ksi 保証（-348% Ni）と NS 63 -1770 ksi 保証（-349% Ni）と NS 63 -1775 ksi 保証（-350% Ni）と NS 63 -1780 ksi 保証（-351% Ni）と NS 63 -1785 ksi 保証（-352% Ni）と NS 63 -1790 ksi 保証（-353% Ni）と NS 63 -1795 ksi 保証（-354% Ni）と NS 63 -1800 ksi 保証（-355% Ni）と NS 63 -1805 ksi 保証（-356% Ni）と NS 63 -1810 ksi 保証（-357% Ni）と NS 63 -1815 ksi 保証（-358% Ni）と NS 63 -1820 ksi 保証（-359% Ni）と NS 63 -1825 ksi 保証（-360% Ni）と NS 63 -1830 ksi 保証（-361% Ni）と NS 63 -1835 ksi 保証（-362% Ni）と NS 63 -1840 ksi 保証（-363% Ni）と NS 63 -1845 ksi 保証（-364% Ni）と NS 63 -1850 ksi 保証（-365% Ni）と NS 63 -1855 ksi 保証（-366% Ni）と NS 63 -1860 ksi 保証（-367% Ni）と NS 63 -1865 ksi 保証（-368% Ni）と NS 63 -1870 ksi 保証（-369% Ni）と NS 63 -1875 ksi 保証（-370% Ni）と NS 63 -1880 ksi 保証（-371% Ni）と NS 63 -1885 ksi 保証（-372% Ni）と NS 63 -1890 ksi 保証（-373% Ni）と NS 63 -1895 ksi 保証（-374% Ni）と NS 63 -1900 ksi 保証（-375% Ni）と NS 63 -1905 ksi 保証（-376% Ni）と NS 63 -1910 ksi 保証（-377% Ni）と NS 63 -1915 ksi 保証（-378% Ni）と NS 63 -1920 ksi 保証（-379% Ni）と NS 63 -1925 ksi 保証（-380% Ni）と NS 63 -1930 ksi 保証（-381% Ni）と NS 63 -1935 ksi 保証（-382% Ni）と NS 63 -1940 ksi 保証（-383% Ni）と NS 63 -1945 ksi 保証（-384% Ni）と NS 63 -1950 ksi 保証（-385% Ni）と NS 63 -1955 ksi 保証（-386% Ni）と NS 63 -1960 ksi 保証（-387% Ni）と NS 63 -1965 ksi 保証（-388% Ni）と NS 63 -1970 ksi 保証（-389% Ni）と NS 63 -1975 ksi 保証（-390% Ni）と NS 63 -1980 ksi 保証（-391% Ni）と NS 63 -1985 ksi 保証（-392% Ni）と NS 63 -1990 ksi 保証（-393% Ni）と NS 63 -1995 ksi 保証（-394% Ni）と NS 63 -2000 ksi 保証（-395% Ni）と NS 63 -2005 ksi 保証（-396% Ni）と NS 63 -2010 ksi 保証（-397% Ni）と NS 63 -2015 ksi 保証（-398% Ni）と NS 63 -2020 ksi 保証（-399% Ni）と NS 63 -2025 ksi 保証（-400% Ni）と NS 63 -2030 ksi 保証（-401% Ni）と NS 63 -2035 ksi 保証（-402% Ni）と NS 63 -2040 ksi 保証（-403% Ni）と NS 63 -2045 ksi 保証（-404% Ni）と NS 63 -2050 ksi 保証（-405% Ni）と NS 63 -2055 ksi 保証（-406% Ni）と NS 63 -2060 ksi 保証（-407% Ni）と NS 63 -2065 ksi 保証（-408% Ni）と NS 63 -2070 ksi 保証（-409% Ni）と NS 63 -2075 ksi 保証（-410% Ni）と NS 63 -2080 ksi 保証（-411% Ni）と NS 63 -2085 ksi 保証（-412% Ni）と NS 63 -2090 ksi 保証（-413% Ni）と NS 63 -2095 ksi 保証（-414% Ni）と NS 63 -2100 ksi 保証（-415% Ni）と NS 63 -2105 ksi 保証（-416% Ni）と NS 63 -2110 ksi 保証（-417% Ni）と NS 63 -2115 ksi 保証（-418% Ni）と NS 63 -2120 ksi 保証（-419% Ni）と NS 63 -2125 ksi 保証（-420% Ni）と NS 63 -2130 ksi 保証（-421% Ni）と NS 63 -2135 ksi 保証（-422% Ni）と NS 63 -2140 ksi 保証（-423% Ni）と NS 63 -2145 ksi 保証（-424% Ni）と NS 63 -2150 ksi 保証（-425% Ni）と NS 63 -2155 ksi 保証（-426% Ni）と NS 63 -2160 ksi 保証（-427% Ni）と NS 63 -2165 ksi 保証（-428% Ni）と NS 63 -2170 ksi 保証（-429% Ni）と NS 63 -2175 ksi 保証（-430% Ni）と NS 63 -2180 ksi 保証（-431% Ni）と NS 63 -2185 ksi 保証（-432% Ni）と NS 63 -2190 ksi 保証（-433% Ni）と NS 63 -2195 ksi 保証（-434% Ni）と NS 63 -2200 ksi 保証（-435% Ni）と NS 63 -2205 ksi 保証（-436% Ni）と NS 63 -2210 ksi 保証（-437% Ni）と NS 63 -2215 ksi 保証（-438% Ni）と NS 63 -2220 ksi 保証（-439% Ni）と NS 63 -2225 ksi 保証（-440% Ni）と NS 63 -2230 ksi 保証（-441% Ni）と NS 63 -2235 ksi 保証（-442% Ni）と NS 63 -2240 ksi 保証（-443% Ni）と NS 63 -2245 ksi 保証（-444% Ni）と NS 63 -2250 ksi 保証（-445% Ni）と NS 63 -2255 ksi 保証（-446% Ni）と NS 63 -2260 ksi 保証（-447% Ni）と NS 63 -2265 ksi 保証（-448% Ni）と NS 63 -2270 ksi 保証（-449% Ni）と NS 63 -2275 ksi 保証（-450% Ni）と NS 63 -2280 ksi 保証（-451% Ni）と NS 63 -2285 ksi 保証（-452% Ni）と NS 63 -2290 ksi 保証（-453% Ni）と NS 63 -2295 ksi 保証（-454% Ni）と NS 63 -2300 ksi 保証（-455% Ni）と NS 63 -2305 ksi 保証（-456% Ni）と NS 63 -2310 ksi 保証（-457% Ni）と NS 63 -2315 ksi 保証（-458% Ni）と NS 63 -2320 ksi 保証（-459% Ni）と NS 63 -2325 ksi 保証（-460% Ni）と NS 63 -2330 ksi 保証（-461% Ni）と NS 63 -2335 ksi 保証（-462% Ni）と NS 63 -2340 ksi 保証（-463% Ni）と NS 63 -2345 ksi 保証（-464% Ni）と NS 63 -2350 ksi 保証（-465% Ni）と NS 63 -2355 ksi 保証（-466% Ni）と NS 63 -2360 ksi 保証（-467% Ni）と NS 63 -2365 ksi 保証（-468% Ni）と NS 63 -2370 ksi 保証（-469% Ni）と NS 63 -2375 ksi 保証（-470% Ni）と NS 63 -2380 ksi 保証（-471% Ni）と NS 63 -2385 ksi 保証（-472% Ni）と NS 63 -2390 ksi 保証（-473% Ni）と NS 63 -2395 ksi 保証（-474% Ni）と NS 63 -2400 ksi 保証（-475% Ni）と NS 63 -2405 ksi 保証（-476% Ni）と NS 63 -2410 ksi 保証（-477% Ni）と NS 63 -2415 ksi 保証（-478% Ni）と NS 63 -2420 ksi 保証（-479% Ni）と NS 63 -2425 ksi 保証（-480% Ni）と NS 63 -2430 ksi 保証（-481% Ni）と NS 63 -2435 ksi 保証（-482% Ni）と NS 63 -2440 ksi 保証（-483% Ni）と NS 63 -2445 ksi 保証（-484% Ni）と NS 63 -2450 ksi 保証（-485% Ni）と NS 63 -2455 ksi 保証（-486% Ni）と NS 63 -2460 ksi 保証（-487% Ni）と NS 63 -2465 ksi 保証（-488% Ni）と NS 63 -2470 ksi 保証（-489% Ni）と NS 63 -2475 ksi 保証（-490% Ni）と NS 63 -2480 ksi 保証（-491% Ni）と NS 63 -2485 ksi 保証（-492% Ni）と NS 63 -2490 ksi 保証（-493% Ni）と NS 63 -2495 ksi 保証（-494% Ni

EXHIBIT B

031484-6



日本鋼構造協会

新しい構造用鋼材とその諸特性

序

近年鋼構造物の建設が増え、かつ、大形化してきているのは、二重知のとおりであるが、その強度部材として主流をなす厚板への新しい特性要求が出され、鉄鋼各社がこれに応えるべく技術開発に努力しているのが現状である。

日本鋼構造協会材料小委員会では、これらの新しい厚板の諸性質についても検討してきたが、これらの内容は、広く、厚板の使用主である鋼構造物設計技術者及び建設加工技術者の諸兄に理解してもらった方が良くと考え、ここに小冊子として編集した。

編集に当たっては、最近の厚板製造技術を概観するとともに、各種厚板製品の特徴について解説し、かつ諸外国のそれとも比較し、また、最近の市場で議論されている課題についてふれることを心がけたが、十分意図がつけなかったことを反省している。

資料内容については、新日本製鉄㈱、日本鋼管㈱、住友金属工業㈱、川崎製鉄㈱、神鋼製鋼所及び日本製鋼所の材料小委員会委員と執筆者の間で検討され、材料小委員会で吟味されたものである。

尚、各種資料は各鉄鋼各社が所有のもの及び既に報告されたものを集めたが、各鉄鋼各社所有のものは数多いデータの中から代表として選んだものなので、敢えて出所の固有会社名は記さなかった。したがって、各鉄鋼各社の固有商品名及び製造技術名も記していない。

この小冊子が、素材製造側の厚板製造技術者と使用側の鋼構造物設計技術者及び建設加工技術者相互の理解を深めるのに役立ち、素材製造側には、更に新しい厚板の開発を、使用側には鋼材の特性をうまく生かした使用方法が進み、ともにわが国の今後の鋼構造物の発展に少しでも寄与すれば幸甚である。

日本鋼構造協会

材料小委員会委員長 寺 沢 一 雄

(大阪大学名誉教授)

新しい構造用鋼材と その諸特性



○編集担当者

- 小西 一郎 京都大学名誉教授
- 佐々木 務 通商産業省工業技術院機械技術研究所
- 佐藤 四郎 防衛大学校教授
- 飯戸 松二 長岡技術科学大学工学部建設系教授
- 竹森 文夫 通商産業省工業技術院標準部材料規格課
- 長沢 雄 運輸省船舶技術研究所次長
- 夏目 光弘 船舶河橋建設研究所主任研究員
- 西島 敏 科学技術庁金属材料技術研究所第九試験部
- 西村 昭 神戸大学工学部土木工学科教授
- 原 淳一 日立造船技術研究所強度研究室長
- 船水 俊彦 大阪大学工学部造船工学科助教授
- 堀川 浩市 大阪大学造船工学科研究所助教授
- 松岡 忠郎 石川島播磨重工業株式会社東京第一工場鉄構1課長
- 水野 幸四郎 (株)日本鉄鋼協会技術部専門部長
- 三木 千寿 東京大学工学部土木工学科助教授
- 森田 航次 千葉大学工学部建築学科助教授
- 八木 順吉 大阪大学工学部造船工学科教授
- 山口 哲夫 日本鋼管株式会社技術部

材料小委員会 (敬称略 50音順)

- 1.3
- 1
- 1.2
- 1
- 1.1
- 1
- 1

- 委員 雄 大阪大学名誉教授
- 清水 淳一 川崎製鉄技術本部技術開発部技術調査室課長
- 青木 博文 横浜国立大学工学部建築工学科助教授
- 石坂 雄 大阪河橋建設研究所建設研究部長
- 阿部 英彦 日本国有鉄道建設研究所構造研究考査
- 安藤 良夫 東京大学工学部原子力工学科教授
- 飯田 国成 東京大学工学部船舶工学科教授
- 石沢 隆夫 神戸製鋼所鉄鋼生産本部鋼板技術部長代理
- 鈴木 寛 住友金属工業株式会社技術開発部主任部長
- 宮元 雅敏 久留米工業高等専門学校機械科教授
- 小林 信和 横浜国立大学工学部金属材料研究施設教授
- 大橋 明 ㈱日本製鋼所重機械材料グループ
- 加藤 勉 東京大学工学部建築工学科教授
- 岸上 幹史 新日本製鉄技術本部厚板技術部課長
- 勝野 寿男 三菱重工重機技術部造船所技術部橋梁課

本対策は多くの合金添加を必要とする 80kg/mm²以上の鋼板に適用されている。

5.2.2.4 不純物元素の低減

PやSなどの不純物元素の低減は母材のみならず HAZ のじん性向上に有効である。ただし、これらの元素をたんに低減しただけでは効果が少なく、本対策は他のぜい化軽減策と併用されている。

図-5.2.18及び図-5.2.19にはTiを添加した大入熱溶接用 HT-50 の HAZ じん性に及ぼす P 及び S の影響をそれぞれ示す¹⁰⁾。これらの図から明らかなように、P が 0.020% 以下に、S が 0.010% 以下に低減されると HAZ のじん性は著しく向上する。

N の低減も HAZ のぜい化軽減に有効である。この理由については、じん性に有害な固溶 N の低減あるいは島状マルテンサイトの低減などの説があり、まだ明らかではないが、図-5.2.20～図-5.2.22に示したように軟鋼、HT-50、HT-80 などについて低 N 化の効果が報告されている^{17),18),19)}。ただし、TiN や BN などを利用して HAZ のぜい化軽減を図る場合には最適 N 量が存在するので、低 N 化により必ずしも HAZ のぜい化が軽減されないことは前述したとおりである。

5.2.2.5 Ni の添加

Ni は鋼のじん性を向上させる元素であり、図-5.2.23に示し

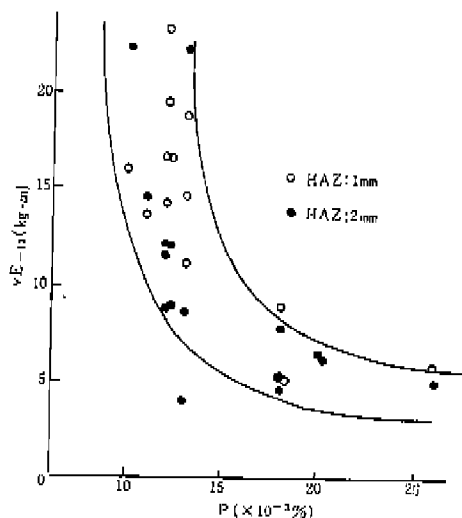


図-5.2.18 50キロ鋼 (Ti 入り) 3 電極溶接部溶接部の HAZ + 1mm、+2mm のじん性、 vE_{-10} と母材の P 量との関係¹⁰⁾

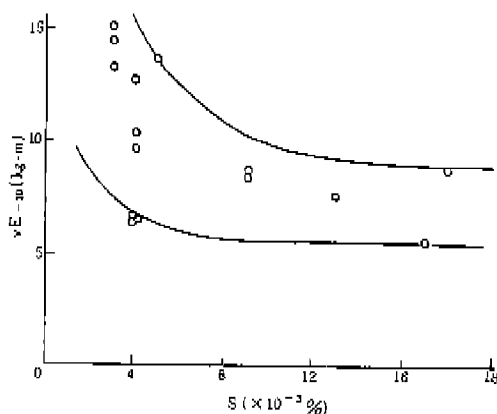
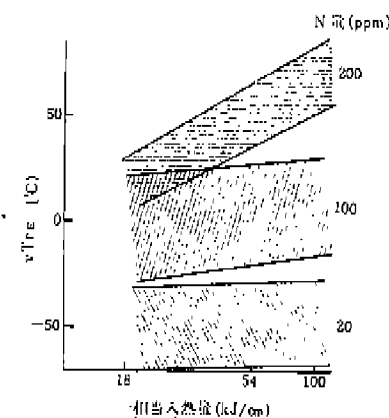


図-5.2.19 50キロ鋼 (Ti 入り) 3 電極溶接部溶接部の HAZ のじん性、 vE_{-10} と母材 S 量との関係¹⁰⁾

たように HAZ のぜい化軽減にも有効である²⁰⁾。ただし、Ni は高価であるため経済性を考慮して添加量を決定する必要がある。

以上、HAZ のぜい化軽減策について述べてきたが、大入熱溶接用鋼板の製造に当っては、たんに一つの対策がとられている



C	Si	Mn	Al
0.10~0.15	0.25	0.87~1.21	0.005~0.07

図-5.2.20 Si-Mn 系軟鋼のポンドじん性に及ぼす N 量の影響¹⁷⁾

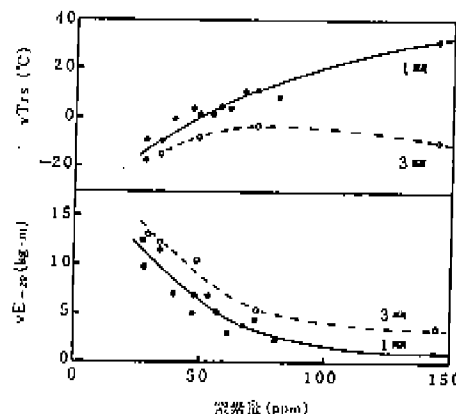


図-5.2.21 HAZ 部の衝撃特性に及ぼす窒素の影響 (HT-50 片面一層サブマージアーク溶接)¹⁸⁾

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	V	Al	Ti	B	N
0.08	0.30	0.87	0.004	0.003	0.27	0.50	0.12	0.01	0.025	0.005	0.0008	0.0011
0.14	0.34	0.92	0.006	0.013	0.58	0.98	0.45	0.05	0.083	0.025	0.0022	0.0121

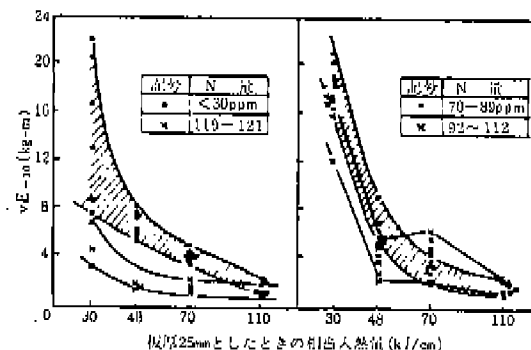
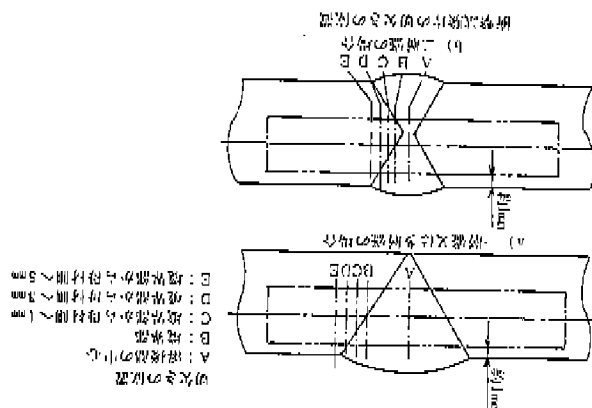


図-5.2.22 HT-80 の熱サイクル試験後のじん性に及ぼす N 量の影響¹⁹⁾

[illegible]

表-5.3.3 大入熱溶液用 HT-50 の化学成分及び機械的性質の一例



“三三三三三”

使用温度より5℃低い試験温度で要求値を満足すればOK。

材料記号		試験温度 (℃)	切取位置	要求耐熱度 (kgf・m)		
				L 方向		T 方向
耐火鋼材	KA32	20	A, B, C	平均値	平均値	—
	KA36			—	—	—
	KD32	0		—	—	—
	KE32	~ 20		—	—	—
耐熱用	KL3A	— 40	A, B, C, D, E	—	—	—
	KL3AB	— 50		—	—	—
	KL33	— 60		—	—	—
	KL37	— 60		—	—	—

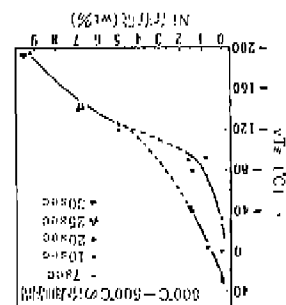
表-5.3.2 NK 規格における自動溶接継手の要求事項

5.3 大入熱密接用鋼板の特性

“2017年7月1日”

將 6 吋射擊部队的特別編制來滿洲海軍部調配，(1) 特別 6 吋

图-5.2.23 内环境被感染部の感染特性と Ni 含有量の関係

5.3.1.1 煤块点 32kpf/mm² 块

N 規格の K32A, K32D, K32E や JIS 規格の SM50, SPV32 などと相当するものとして用い延まあるいは焼ならしめの大入熱処理鋼板が市販されている。本鋼板は、大入熱処理材として微量の Ti, Ca, REM, B, Al などとを添加あるいは混合添加し、HAZ に微細なフェライト・パーライトを生成させることにより、HAZ のぜい化減を図ったものである。表-5.3.3.3 には鋼板の化学成分及び機械的性質の一例を示す。

・材料の引張特性や耐摩耗性は同炭にみられるように一般炭とほぼ同等である。

・本鋼板は、片面一層 SAW, ECW, あるいは CES などの大入熱処理を適用することが可能であり、前述したように船体構造用鋼板として使用されている。

表-5.3.2 NK規格における自動溶接継手の要求検査値

片面一層 SAW は板厚12~32mmの鋼板の突合せ溶接に適用されており、板厚に応じて入熱量 80~250KJ/cm で溶接されている。

立向の大入熱溶接法である EGW 及び CES での入熱量は、それぞれ 60~300KJ/cm 及び 200~500KJ/cm である。

これらの大入熱溶接法における継手の衝撃特性の一例を図-5.3.1に示す。これらの図から明らかなように、大入熱溶接用鋼板は、ボンド部のじん性が一般鋼よりも優れており、また、ぜい化域の幅も狭くなっていることが分かる。

図-5.3.2は、市販されている種々の大入熱溶接用鋼板のボンド部の衝撃試験結果を、入熱量とシャルピー特性値 $vTrs$ との関係について整理し、これを一般鋼の場合と対比して示したものである。大入熱溶接用鋼板は入熱量を増大させてもボンド部のぜい化が少なく、入熱量がおおよそ 80KJ/cm 以上になると大入熱溶接対策の効果が顕著になることが分かる。

次に大入熱溶接用鋼板の溶接継手部におけるぜい性破壊特性を紹介する。図-5.3.3には中央切欠付ディープノッチ試験の結果を示す。大入熱溶接用鋼板のボンド部におけるぜい性破壊発生特性値 $[Ti]_{c=10}$ (応力：公称応力の1/2、き裂長さ：80mmの場合のぜい性破壊発生温度) は、片面一層 SAW 及び EGW のいずれの溶接法の場合においても一般鋼より低温側に位置している。本結果からも大入熱溶接用鋼板は一般鋼より HAZ のじん

性が優れていることが分かる。図-5.3.4には EGW 継手の COD 試験結果を示す。一般の船舶における最も低い使用温度 -20℃ においても限界COD値 (δ_c) はボンド部において0.7mm以上の極めて高い値を示している。

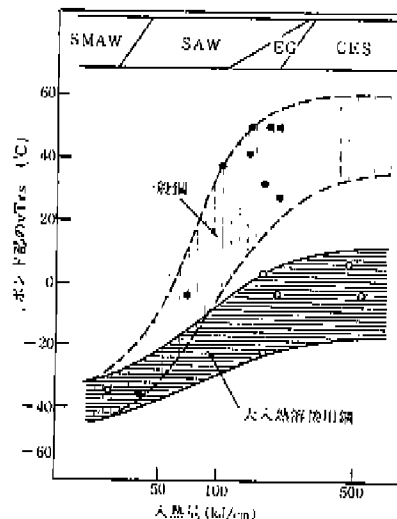


図-5.3.2 降伏点 32kg f/mm²級 HT-50 における入熱量とボンド部の $vTrs$ との関係

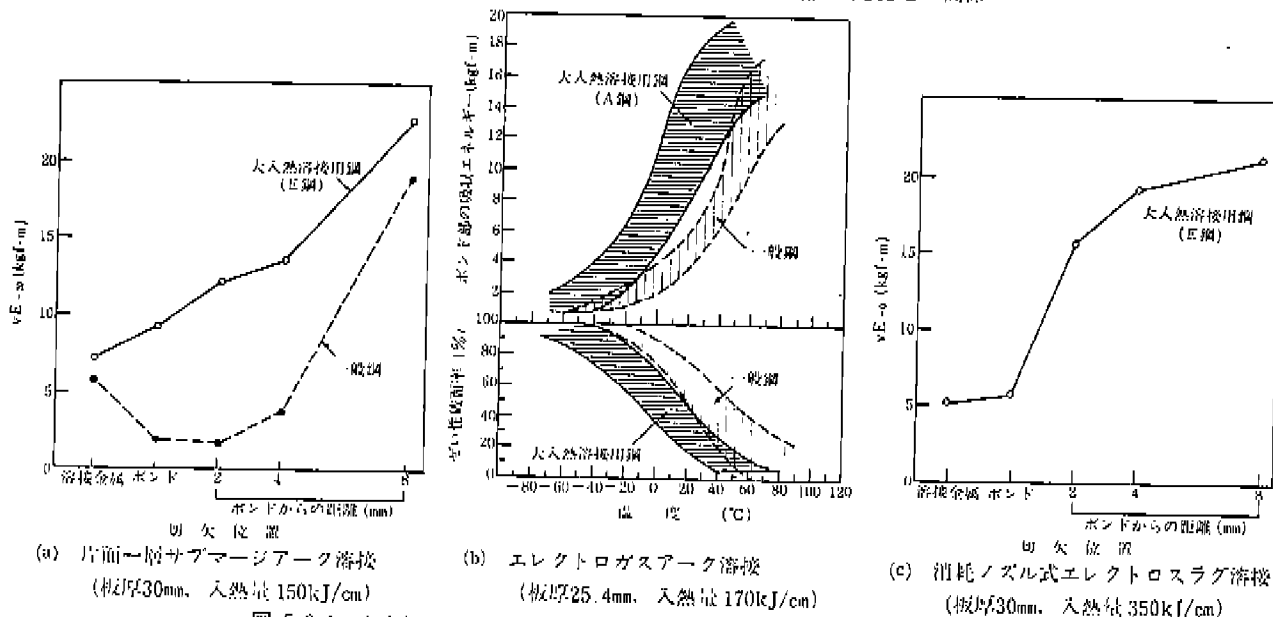


図-5.3.1 大入熱溶接用降伏点32kg f/mm²級 HT-50 における溶接継手の衝撃値

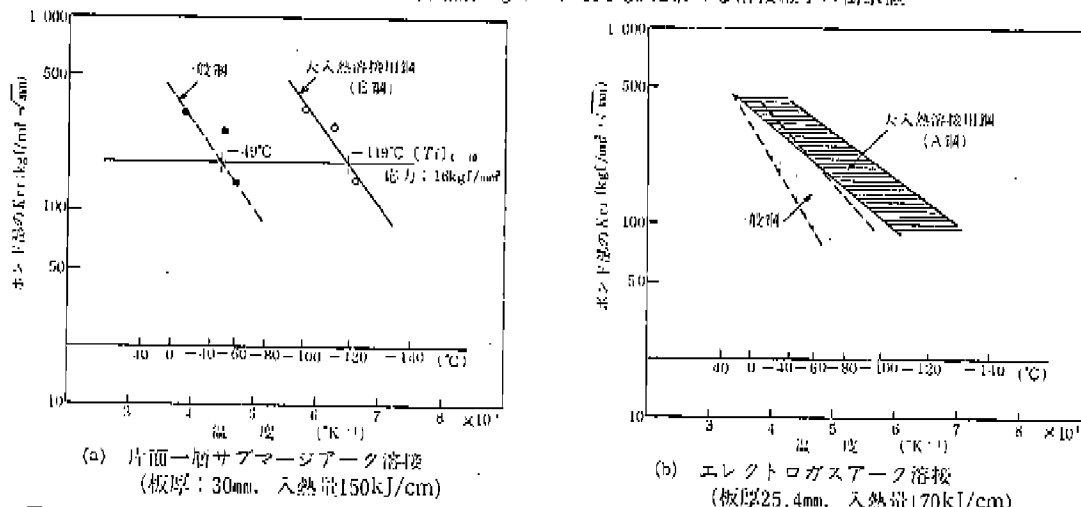


図-5.3.3 大入熱溶接用降伏点32kg f/mm²級 HT-50 の溶接継手ボンド部における中央切欠付ディープノッチ試験結果

鋼種	厚さ (mm)	化学成分 (%)										機械的性質				
		C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al	Ti	Ceq. (%)	引張強度 Y _P (kgf/mm ²)	引張伸び TS (kgf/mm ²)	断面収縮率 VE _u (%)	衝撃吸収値 V _{TS} (J/cm)	
A	20	0.11	0.22	1.37	0.014	0.007	0.019	—	0.043	0.012	0.35	48.7	57.8	23.9	-109	
	32	0.12	0.22	1.36	0.015	0.006	0.019	—	0.041	0.013	0.36	45.5	52.9	20.0	-78	
	40	0.11	0.21	1.37	0.014	0.007	0.017	—	0.041	0.013	0.35	42.3	52.4	23.9	-80	
	43	0.09	0.26	1.43	0.015	0.001	—	0.04	0.020	0.015	0.35	43	52	29.5	< -100	
	50	0.11	0.38	1.37	0.019	0.002	—	0.06	0.023	0.014	0.36	43	52	21.9	-88	
B	32	0.13	0.34	1.39	0.016	0.006	0.032	—	0.029	0.014	0.40	39.0	53.9	17.7	-50	
	50	0.11	0.38	1.37	0.019	0.002	—	0.06	0.023	0.014	0.36	43	52	21.9	-88	

表-5.3.4 大入熱溶接用降伏点 36kgf/mm² HT-50 の化学成分と機械的性質の一例

図-5.3.5 制御圧延法と焼ならし法の比較

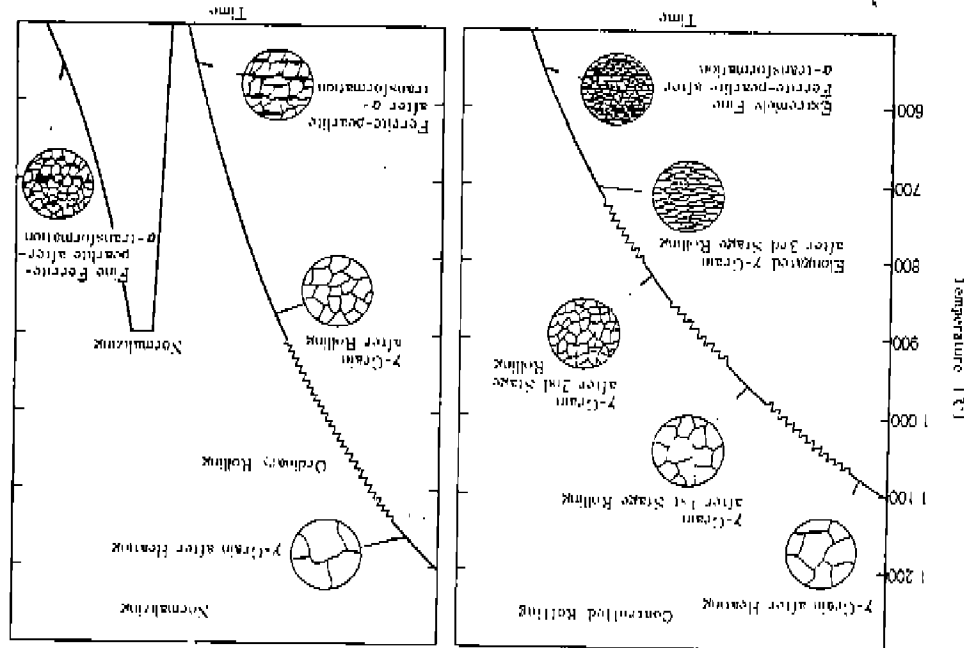
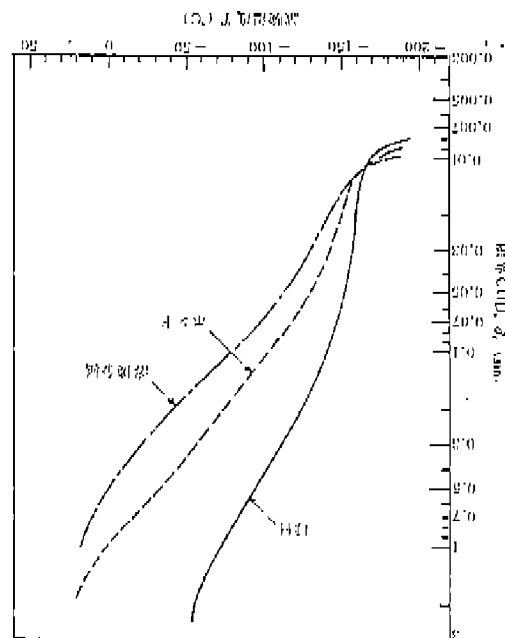


図-5.3.4 大入熱溶接用降伏点 32kgf/mm² HT-50 のエレクトロックス・ソール接継手の断接板 (A例, 板厚 25.4mm, 入熱量 170kJ/cm)



5.3.1.2 降伏点 36kgf/mm² 鋼板、所延まあるいは焼ならしにより製造されている本鋼板は、強度確保のために合金元素が多く添加されているので、降伏点 32kgf/mm² の鋼板に適用されている微細組織を施しても HAZ の組織をフェライト・パーライトと少量の炭素を施すことができない。しかし、強度、制御圧延技術の進歩により上述の問題は解決された。この圧延技術はスラフの加熱から圧延の段階へ至るまでの全圧延過程において圧延温度と压下量を制御することにより、高強度のじん性鋼板を製造する技術であり、この場合、図-5.3.5に示したように普通圧延や焼ならし法の場合より結晶粒を小さくすることができ、また、Nb や V などの炭化物の析出強化が利用できる。したがって、目標強度を同一とした場合、この圧延技術を用いた鋼板では、合金元素によって強度を確保されているに延まあるいは焼ならし形の鋼板に比べて合金元素の削減が可能となる。

本強度クラスの大入熱溶接用鋼板は、この圧延技術と前述の微細フェライト・パーライトの生成を利用した HAZ の微細化の炭素との組合せにより増進されたものであり、NK 規格の K36A, K36D, K36E, JIS 規格の SM50Y, SM53, SPV36 などと相当するものである。

表-5.3.4には、HAZ の微細化特性を一例として示す。本鋼板では C

量が0.10%前後まで低減されており、その結果、 C_{eq} も一般鋼より約0.04%低くなっている。VやNbは制御圧延による強度増加の効果を高めるために添加されている。

本鋼板の母材じん性は、同表に示した衝撃特性及び図-5.3.6の二重引張試験結果にみられるように、一般鋼よりはるかに優れている。これは制御圧延鋼板の一つの特長であり、本圧延により結晶粒が非常に細粒化されているためである。

片面一層SAW継手におけるシャルピ試験結果の一例を一般鋼のそれと対比して図-5.3.7に、その中央切欠付ディープノッチ試験結果を図-5.3.8に示す。また、図-5.3.9には入熱量とボンド部の VE_{-20} との関係を示す。これらの図より、大入熱溶接用鋼板のボンド部のじん性は、入熱量が増大してもせい化が少なく、一般鋼より優れていることが分かる。なお、本鋼板では、大入熱溶接継手のHAZのじん性に有害であるといわれていたNb

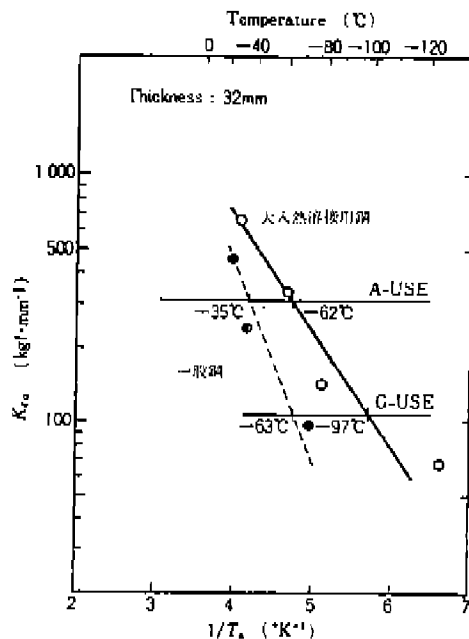


図-5.3.6 大入熱溶接用降伏点36kg f/mm²級 HT-50の二重引張試験結果 (A鋼)

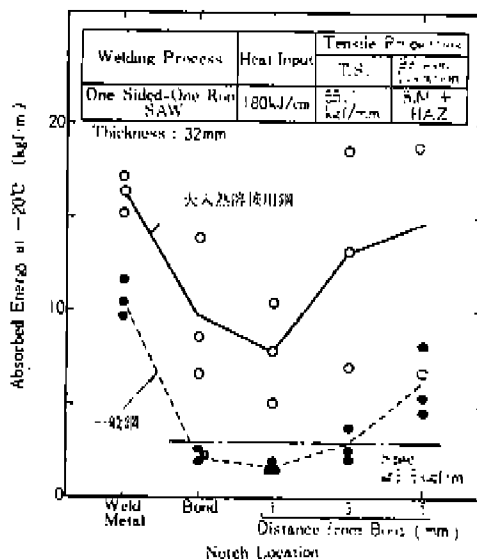


図-5.3.7 大入熱溶接用降伏点36kg f/mm²級 HT-50における片面一層サブマージアーク溶接継手のシャルピ衝撃特性 (A鋼)

やVが添加されている²²⁾にもかかわらず良好なじん性を有しているが、これは、C量や C_{eq} を低減すれば、これらの元素を有効に活用できることを示すものである。

C量や C_{eq} の低減は、図-5.3.10に示したように耐溶接割れ性の改善にも有効である。本鋼板は溶接時に予熱を必要としないため溶接作業能率の向上の点からも極めて有用であるといえる。

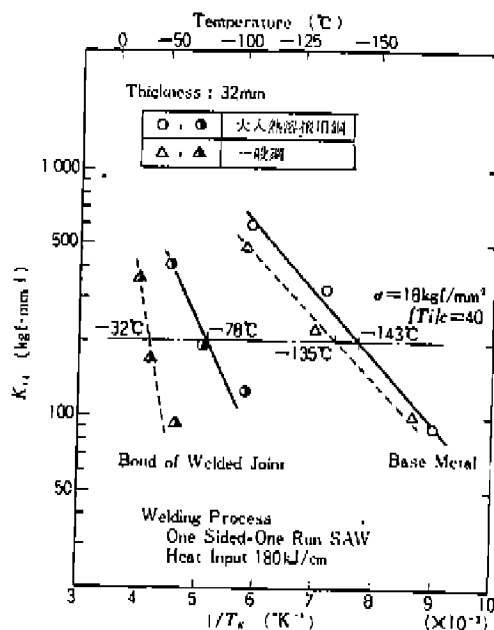


図-5.3.8 大入熱溶接用降伏点36kg f/mm²級 HT-50 中央切欠付ディープノッチ試験結果 (A鋼)

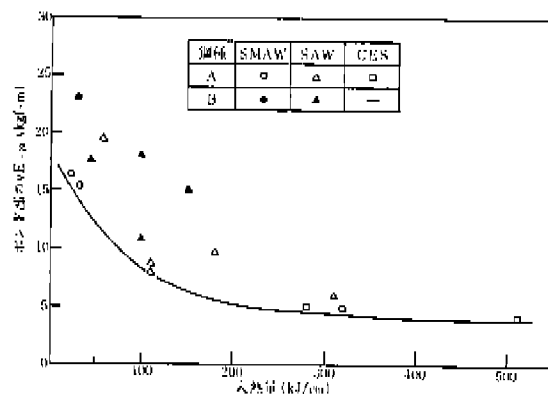


図-5.3.9 大入熱溶接用降伏点36kg f/mm²級 HT-50における入熱量とボンド部の VE_{-20} との関係

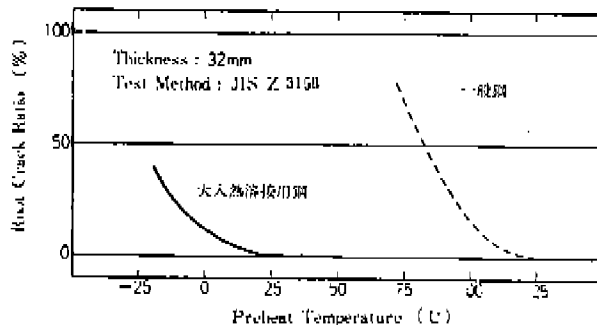


図-5.3.10 大入熱溶接用降伏点36kg f/mm²級 HT-50の針めY形溶接われ試験結果 (鋼種A)

新しい構造用鋼材とその諸特性

定価 5,000円

昭和56年11月25日 © 1981

編集兼発行人 藤 原 孝
発行所 日本鋼構造協会
〒100 東京都千代田区丸の内3-3-1 新東京ビル848
電(03) 212-0875(代) 振替口座東京 4-99826

EXHIBIT C

Test pieces for tensile test for metallic materials

Introduction This Japanese Industrial Standard is based on ISO 6892 : 1984, *Metallic materials—Tensile testing*. However, this Standard specifies the non-proportional test piece not included in ISO 6892. This is because that the sudden abortion of the non-proportional test piece which has been specified so far in the Japanese Industrial Standard for a long time is considered to affect a commercial transaction to a great extent. Nevertheless, taking this circumstance into account the division of use and the dimension of test piece specified in ISO 6892 are included newly in Remarks Table 1 to contribute to the use, when testing the materials specified in ISO Standard with a view to seeking the conformity with the International Standard.

1 Scope This Japanese Industrial Standard specifies test pieces for tensile test for metallic materials (hereafter referred to as "test piece").

Remarks 1 When the tensile test values are required to be compared between the test pieces of different materials or different dimensions, or when the tensile test results are used in international trade, it is preferable to use the proportional test piece specified in this Standard.

2 The following standard is corresponding International Standard to this Standard :

ISO 6892 : 1984 *Metallic materials—Tensile testing*

2 Normative references The following standard contains provisions which, through reference in this Standard, constitute provisions of this Standard. The most recent edition of the standard indicated below shall be applied.

JIS G 0202 *Glossary of terms used in iron and steel (testing)*

3 Definitions For the purpose of this Standard, the definitions given in JIS G 0202 apply.

4 Types of test piece

4.1 The test pieces shall be classified as specified in 5.1 depending upon the form and size. These are classified into the proportional test piece and the non-proportional one as given in Table 1.

Table 1 Classification of test piece

Form of test piece	Flat form test piece	Bar form test piece	Tubular form test piece	Arc section test piece	Wire form test piece
Proportional test piece	No.14B	No.2, No.14A	No.14C	No.14B	
Non-proportional test piece	No.1A, No.1B, No.5, No.13A, No.13B	No.4, No.10, No.8A, No.8B, No.8C, No.8D	No.11	No.12A, No.12B, No.12C	No.9A, No.9B

Remarks : In addition to Table 1, the special test pieces are specified in Annex.

4.2 The selection of a type of test piece to be used shall be in accordance with the requirements of the standard for particular material, but it is recommended to be selected as given in Table 2.

Table 2 Division of use of test pieces

Material		Test piece		Remarks
Form	Dimensions	Proportional	Non-proportional	
Sheet, plate, shape, strip	Over 40 mm in thickness	No. 14A	No. 4, No. 10	For bar form test piece
		No. 14B	—	For flat form test piece
	Over 20 mm up to and incl. 40 mm in thickness	No. 14A	No. 4, No. 10	For bar form test piece
		No. 14B	No. 1A	For flat form test piece
	Over 6 mm up to and incl. 20 mm in thickness	No. 14B	No. 1A, No. 5	
	Over 3 mm up to and incl. 6 mm in thickness		No. 5, No. 13A,	
3 mm or less in thickness	—	No. 13B		
Bar	—	No. 2, No. 14A	No. 4, No. 10	—
Wire	—	—	No. 9A, No. 9B	—
Pipe	Pipe of small outside dia.	No. 14C	No. 11	For tubular form test piece
	50 mm or less in outside dia.	No. 14B	No. 12A	For arc section test piece
	Over 50 mm up to and incl. 170 mm in outside dia.		No. 12B	
	Over 170 mm in outside dia.		No. 12C	
	200 mm or over in outside dia.	No. 14B	No. 5	For flat form test piece or arc section test piece
	Thick wall pipe	No. 14A	No. 4	For bar form test piece
Cast- ing	—	No. 14A	No. 4, No. 10	—
	—	—	No. 8A, No. 8B No. 8C, No. 8D	To be used when elongation value is not required. To be taken from test coupon casted for test piece
Forg- ing	—	No. 14A	No. 4, No. 10	—

Shape
section
produc
Sheet

Bar

Wire

Pipe

Shape

D: dia

Note (

Remar

- Remarks 1 No. 1B test piece shall be used in the case where the test pieces shown in Table 2 are not suitable to be used.
- 2 No. 3, No. 6 and No. 7 test piece specified in Annex should be used when the use of test pieces given in Table 2 is not suitable.
- 3 For the materials specified in the International Standard, the division of use shown in the following remarks Table 1 may be used.

Remarks Table 1 Division of use and dimension of test piece based on International Standard

Unit : mm

Shape of cross section of product	Dimension	Width <i>W</i>	Gauge length <i>L</i>	Parallel length <i>P</i>	Distance from end of parallel portion to grip
Sheet	Less than 3 mm in sheet thickness	12.5 20	50 80	75 120	87.5 140
	3 mm or more in sheet thickness ⁽¹⁾	—	$5.65\sqrt{A}$	$L+2\sqrt{A}$	—
Bar	Less than 4 mm in outside diameter	— —	200 100	— —	250 150
	4 mm or more in outside diameter ⁽¹⁾	—	$5D$	$L+2D$	—
Wire	Less than 4 mm in outside diameter	— —	200 100	— —	250 150
	4 mm or more in outside diameter ⁽¹⁾	—	$5D$	$L+2D$	—
Pipe	Less than 3 mm in pipe thickness	12.5 20	50 80	75 120	87.5 140
	3 mm or more in pipe thickness	—	$5.65\sqrt{A}$	$L+2\sqrt{A}$	—
Shape	Less than 4 mm in thickness	— —	200 100	— —	250 150
	4 mm or more in thickness ⁽¹⁾	—	$5D$	$L+2D$	—

D: diameter of parallel portion, *A*: sectional area of parallel portion

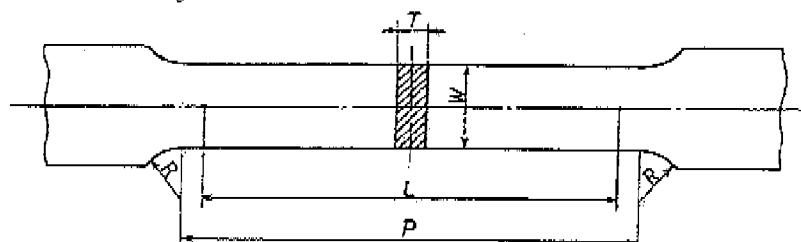
Note ⁽¹⁾ When using a test piece of circular cross section, *D* = 5 mm, 10 mm, or 20 mm is recommended.

- Remarks 1 In the case of rectangular cross section, the ratio between sheet thickness and sheet width shall not exceed 8 : 1.
- 2 In the case of hexagonal cross section, the parallel length shall be $P = L + 1.5\sqrt{A}$.
- 3 The parallel length, in the case of circular cross section and in other cases, shall be $P = L + 0.5D$ and $P = L + 1.5\sqrt{A}$ or more respectively, even in the minimum.

5 Form and dimensions of test piece

5.1 Form and dimensions of test piece The forms and dimension of the test pieces shall be as follows.

a) No. 1 test piece The form and dimensions of this test piece shall conform to Fig. 1

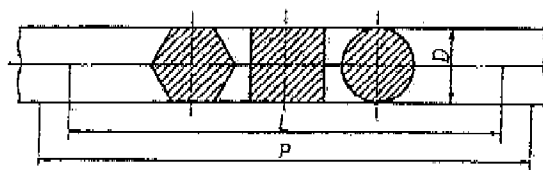


Unit : mm

Type of test piece	Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T
1A	40	200	220 approx.	25 min.	Thickness of material
1B	25	200	220 approx.	25 min.	Thickness of material

Fig. 1 No. 1 test piece

b) No. 2 test piece The form and dimensions of this test piece shall conform to Fig. 2

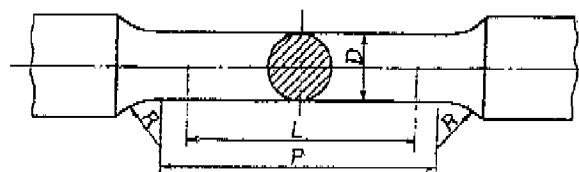


Dia. or width across flats D	Gauge length L	Distance between grips P
Size of material	$8D$	$(L + 2D)$ approx.

Remarks : For No. 2 test piece, the bars of not more than 25 mm in nominal diameter (or width across flats) shall be used.

Fig. 2 No. 2 test piece

- c) No. 4 test piece The form and dimensions of No. 4 test piece shall conform to Fig. 3.



Unit : mm

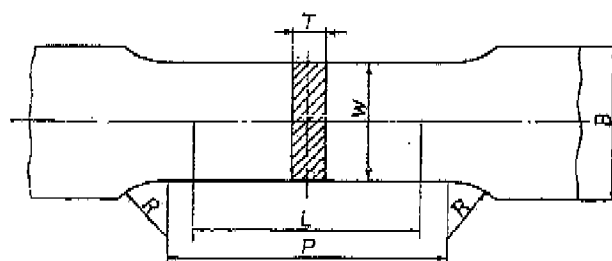
Diameter D	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R
14	50	60 approx.	15 min.

Remarks 1 The parallel portion of No. 4 test piece shall be machine-finished.

- 2 If No.4 test piece of the dimensions as specified in Fig. 3 can not be obtained, the diameter of parallel portion and the gauge length may be determined in accordance with the formula $L = 4\sqrt{A}$, where A is the cross-sectional area of parallel portion.

Fig. 3 No. 4 test piece

- d) No. 5 test piece The form and dimensions of No. 5 test piece shall conform to Fig. 4.



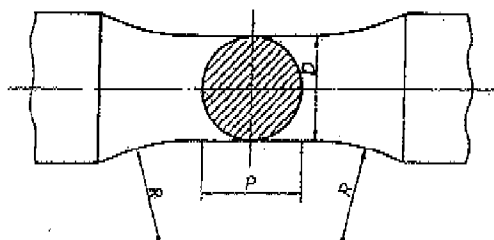
Unit : mm

Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T
25	50	60 approx.	15 min.	Thickness of material

Remarks : In the case of applying No. 5 test piece to steel sheets not more than 3 mm thick, the radius R of fillet shall be 20 mm to 30 mm, and the width B of gripped ends shall be 30 mm or over.

Fig. 4 No. 5 test piece

- e) **No. 8 test piece** The form and dimensions of No. 8 test piece shall conform to Fig. 5.



Unit : mm

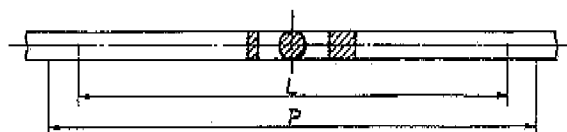
Type of test piece	Casting dimensions of test coupon (diameter)	Parallel length P	Diameter D	Radius of fillet R
8A	13 approx.	8 approx.	8	16 min.
8B	20 approx.	12.5 approx.	12.5	25 min.
8C	30 approx.	20 approx.	20	40 min.
8D	45 approx.	32 approx.	32	64 min.

Remarks 1 No. 8 test piece shall be used for the tensile testing of the materials such as iron castings which do not require elongation values.

- 2 No. 8 test piece shall be sampled from the specimen cast to the dimensions given in the Table.

Fig. 5 No. 8 test piece

- f) **No. 9 test piece** The form and dimensions of No. 9 test piece shall conform to Fig. 6.



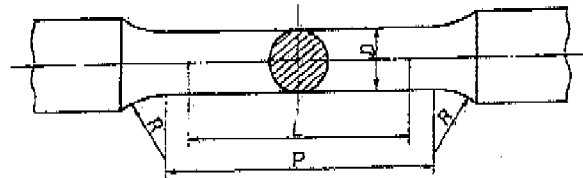
Unit : mm

Type of test piece	Gauge length L	Distance between grips P
9A	100	150 min.
9B	200	250 min.

Fig. 6 No. 9 test piece

to Fig.

- a) No. 10 test piece The form and dimensions of No. 10 test piece shall conform to Fig. 7.

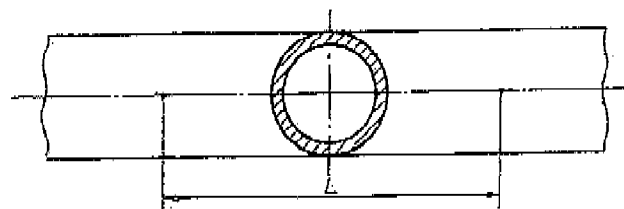


Unit : mm

Diameter D	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R
12.5	50	60 approx.	15 min.

Fig. 7 No. 10 test piece

- b) No. 11 test piece The form and dimensions of No. 11 test piece shall conform to Fig. 8.



Gauge length $L = 50$ mm

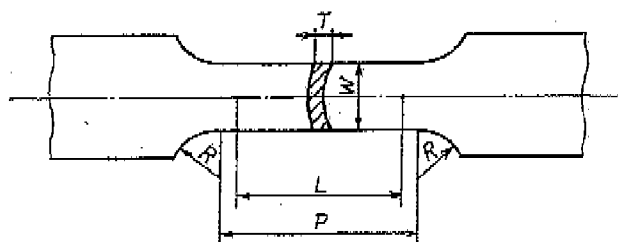
Remarks : The cross section of No. 11 test piece shall be as cut from the tubular material, and the gripped ends shall be inserted with metal plugs or pressed flat by hammering.

In the latter case, the length of parallel portion shall be not less than 100 mm.

Fig. 8 No. 11 test piece

- i) No. 12 test piece The form and dimensions of No. 12 test piece shall conform to Fig. 9.

k) No
1) N
tc



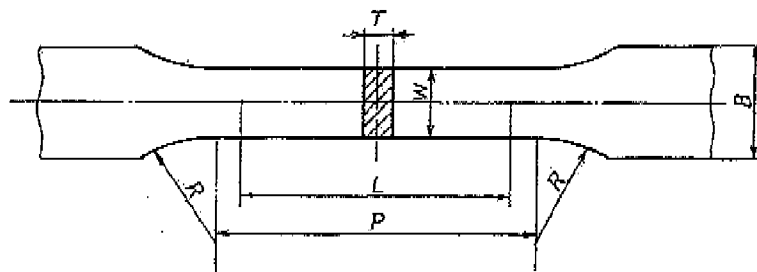
Unit : mm

Type of test piece	Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T
12A	19	50	60 approx.	15 min.	Thickness of tube
12B	25	50	60 approx.	15 min.	Thickness of tube
12C	38	50	60 approx.	15 min.	Thickness of tube

Remarks : The cross section of parallel portion of No. 12 test piece shall be arc form as cutting out of the tubular material. However, the gripped ends of test piece may be hammered flat at the room temperature.

Fig. 9 No. 12 test piece

- j) No. 13 test piece The form and dimensions of No. 13 test piece shall conform to Fig. 10.



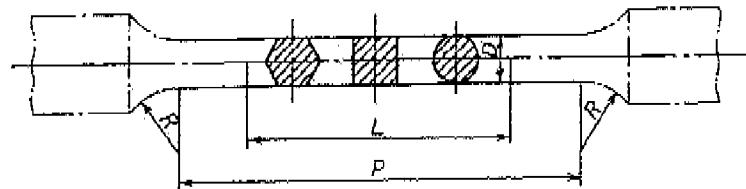
Unit : mm

Type of test piece	Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T	Width of gripped portion B
13A	20	80	120 approx.	20 to 30	Thickness of material	—
13B	12.5	50	60 approx.	20 to 30	Thickness of material	20 min.

Fig. 10 No. 13 test piece

k) No. 14 test piece

- 1) No. 14A test piece The form and dimensions of No. 14A test piece shall conform to Fig. 11.



Unit : mm

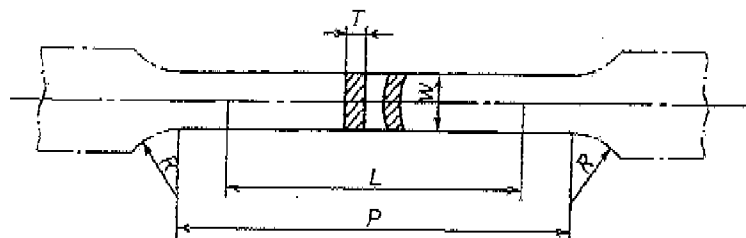
Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R
$5.65\sqrt{A}$	$5.5D$ to $7D$	15 min.

A : cross-sectional area of parallel portion

- Remarks 1 The gauge length may be so determined that $L = 5D$ for circular cross section of parallel portion, that $L = 5.65D$ for square cross section, and that $L = 5.26D$ for hexagonal cross section.
- 2 The length P of parallel portion should be $7D$, as far as practicable.
- 3 The diameter of gripped portions of No. 14A test piece may be made the same dimension as that of the parallel portion. In this case, the distance of P between grips shall be so determined that $P \geq 8D$.
- 4 In the case of the materials specified in the International Standard, Remarks Table 1 in 4.2 applies.

Fig. 11 No. 14A test piece

- 2) No. 14B test piece The form and dimensions of No. 14B test piece shall conform to Fig. 12.



Unit : mm

Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T
$8T_{\max.}$	$5.65\sqrt{A}$	$L+1.5\sqrt{A}$ to $L+2.5\sqrt{A}$	15 min.	Thickness of material

A : cross-sectional area of parallel portion

- Remarks 1 The length of parallel portion shall be so determined that $P = L + 2\sqrt{A}$, as far as practicable.
- 2 In the case of applying No. 14B test piece to the test of tubes, the cross section of parallel portion shall be as cut out of the tube.
- 3 The width of gripped portion of No. 14B test piece may be made the same as that of the parallel portion. In this case, the parallel length shall be $P = L + 3\sqrt{A}$.
- 4 No. 14B test piece, the standard dimensions of which are given in Remarks Table 2, should be used by unifying in every reasonable gauge of sheet width.
- 5 In the case of the materials specified in the International Standard, Remarks Table 1 in 4.2 applies.

Fig. 12 No. 14B test piece

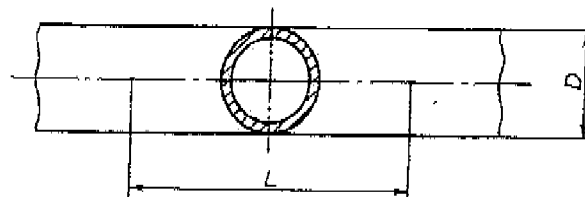
Remarks Table 2 Standard dimensions of 14B test piece

Plate thickness	Width W	Gauge length L	Parallel length P
Over 5.5 mm up to and incl. 7.5 mm	12.5	50	80
Over 7.5 mm up to and incl. 10 mm		60	
Over 10 mm up to and incl. 13 mm	20	85	130
Over 13 mm up to and incl. 19 mm		100	
Over 19 mm up to and incl. 27 mm	40	170	265
Over 27 mm up to and incl. 40 mm		205	

Unit : mm

conform

- 3) No. 14C test piece The form and dimensions of No. 14C test piece shall conform to Fig. 13.



Gauge length $L = 5.65\sqrt{A}$ (where A is the cross-sectional area of test piece)

- Remarks 1 The cross section of No. 14C test piece shall be as cut out of the tubular material.
- 2 This test piece shall be tested with its gripped ends inserted with metal plugs. In this case, the length of the part which is allowed to deform without touching the metal plugs shall be within the range from $(L + \frac{D}{2})$ to $(L + 2D)$, but $(L + 2D)$ is preferable.
- 3 In the case of the materials specified in the International Standard, Remarks Table 1 in 4.2 applies.

Fig. 13 No. 14C test piece

5.2 Parallel length of test piece In the case where the elongation value is not required in the tensile test, the length of parallel portion of each test piece prescribed in 5.1 may be so changed that $P \geq 3D$ or that $P \geq 3\sqrt{A}$.

5.3 Gauge length of proportional test piece The gauge length of the proportional test piece shall be at least 25 mm. However in the case where the original sectional area of the test piece is too small and, therefore, the gauge length of the proportional test piece is less than 25 mm, it is allowed to make the proportional constant 5.65 or more or to use the non-proportional test piece.

The gauge length of the proportional test piece may be rounded off to the nearest 5 mm, within the tolerance of 10 % on the calculated proportional dimension.

5.4 Change of parallel length of proportional test piece When conducting the tests of proportional test pieces of varied dimensions at a time, they may be so made that the lengths of parallel portions shall be unified to the longest one.

6 Tolerances on the dimensions of parallel portion of test piece

6.1 Tolerance on machined parallel portion in relation to nominal dimension The tolerances on diameter, thickness and width of parallel portion after machining in relation to the respective nominal dimensions shall be as shown in Table 3.

Table 3 Tolerance on parallel portion in relation to nominal dimension

Unit : mm

Nominal dimension	Tolerance
Over 4 up to and incl. 16	± 0.5
Over 16 up to and incl. 63	± 0.7

6.2 Variation of dimension of machined parallel portion The diameter, thickness and width of mechanically-finished parallel portion of a test piece shall be uniform all over that portion, without variations (maximum value—minimum value) exceeding the tolerance given in Table 4 (for circular cross section) and Table 5 (for rectangular cross section).

Table 4 Tolerance on variation of dimension of parallel portion (case of circular cross section)

Unit : mm

Mechanically-finished diameter	Tolerance
Over 3 up to and incl. 6	0.03
Over 6 up to and incl. 18	0.04
Over 18	0.05

Table 5 Tolerance on variation of dimension of parallel portion (case of rectangular cross section)

Unit : mm

Mechanically-finished thickness or width	Tolerance
Over 3 up to and incl. 6	0.06
Over 6 up to and incl. 18	0.08
Over 18	0.10

Remarks : For example, if the minimum measured diameter of a parallel portion of a No. 4 test piece is 14.30 mm, the maximum diameter of the parallel portion should not exceed 14.34 mm (see Table 4).

Besides, the finished diameter of a No. 4 test piece of 14 mm nominal diameter shall be within 13.5 mm to 14.5 mm all over the parallel portion (see Table 3).

6.3 Taper of parallel portion of test piece If necessary, the parallel portion of a test piece may be tapered towards the middle within the tolerance on form specified in 6.2.

1 Scope
metallic

2 Term

3 Shape

3.1 Shaped into
sections of v

a) No. 3
Anne

Rema

b) No.
Ann

Annex (normative) Special tensile test piece for metallic materials

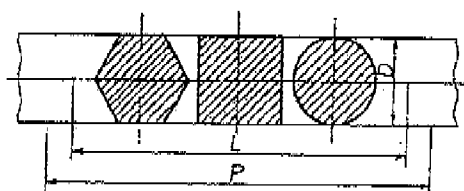
1 **Scope** This Annex specifies the special tensile test piece used in the tensile test of metallic materials (hereafter referred to as "special test piece").

2 **Term of application** This Annex applies until December 31, 2004.

3 **Shape and dimension of special test piece**

3.1 **Shape and dimension of special test piece** The special test piece shall be classified into No. 3 test piece, No. 6 test piece and No. 7 test piece, the shapes and dimensions of which are as follows ;

a) **No. 3 test piece** The shape and dimension of No. 3 test piece shall be as shown in Annex Fig.1.



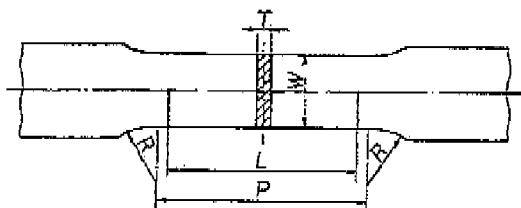
Dia. or width across flats D	Gauge length L	Distance between grips P
Size of material	$4D$	Approx. $(L + 2D)$

Remarks 1 No. 3 test piece is used for bar materials the nominal diameter (or width across flats) of which exceeds 25 mm.

2 No. 3 test piece may be machined to be the test piece having the parallel portion provided that, in this case, the diameter of parallel portion is 25 mm or more and the length of parallel portion P is approximately $4.5 D$.

Annex Fig. 1 No. 3 test piece

b) **No. 6 test piece** The shape and dimension of No. 6 test piece shall be as shown in Annex Fig. 2.



Unit : mm

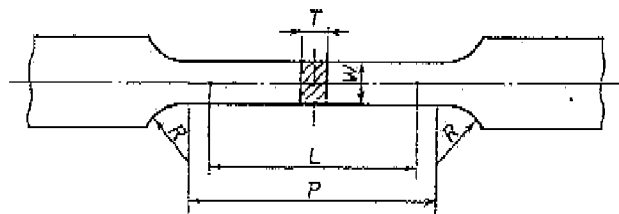
Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T
15	$8\sqrt{A}$	$L + \text{approx. } 10$	15 or over	Thickness of material

A : cross section area of parallel portion ($W \times T$)

Remarks : No. 6 test piece is used for sheet materials and shape materials the thickness of which is 6 mm or under.

Annex Fig. 2 No. 6 test piece

- c) No. 7 test piece The shape and dimension of No. 7 test piece shall be as shown in Annex Fig. 3.



Unit : mm

Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T
T or over	$4\sqrt{A}$	Approx. $1.2L$	15 or over	Thickness of material

A : cross section area of parallel portion ($W \times T$)

Annex Fig. 3 No. 7 test piece

3.2 Parallel length of special test piece If elongation value is unnecessary in tensile test, the parallel length of each special test piece is allowed to be $P \geq 3D$ or $P \geq 3\sqrt{A}$.

3.3 Gauge length of special test piece As for the gauge length of special test piece, the fraction may be rounded off up to 5 mm within a range not exceeding the tolerance of 10 % with respect to the calculated proportional dimension.

3.4 Change of parallel length of special test piece When carrying out the test at the same time using the special test pieces of different dimensions, they may be prepared in such a way that the parallel lengths are adjusted to the longest one.

4 Tolerance on the dimension of parallel portion of special test piece The tolerance on the dimension of parallel portion of the special test piece shall be as specified in 4 d) the body.

Met

Introductio
lie materials
from the cor
tents. In the
specified to
national use
%/min has b
Japanese In

1 Scope
of metallic r
Remarks

ISO 689.

2 Normat
through refe
tions of the
JIS B 7

JIS B 7

JIS G 0

JIS Z 2

JIS Z 8

3 Definiti
0202 and th

a) gauge l
on which
a distin

1) origi

2) fini

the

thei

b) extens

used for

may dif

diameter

Where,

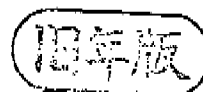
c) elongat

d) percen

EXHIBIT D

JIS

UDC 621.791.05:620.178,
152.341



JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

Testing Method of Maximum
Hardness in Weld
Heat-Affected Zone

JIS Z 3101 -1972

Translated and Published

by

Japanese Standards Association

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

J I S

Testing Method of Maximum Hardness in
Weld Heat-Affected Zone

Z 3101-1972

1. Scope

This standard specifies testing method of maximum hardness in weld heat-affected zone of a steel by a covered electrode, hereinafter referred to as the "maximum hardness test".

2. Test Specimen

2.1 The test specimen shall be as indicated in Fig. 1 and Table 1, and the thickness (t) of test material shall be 20 mm as standard. When original thickness of the material exceeds 20 mm, the one face shall be machined cut to 20 mm, and in case of less than 20 mm, leaving it in original thickness.

Fig. 1. Shape of Test Specimen

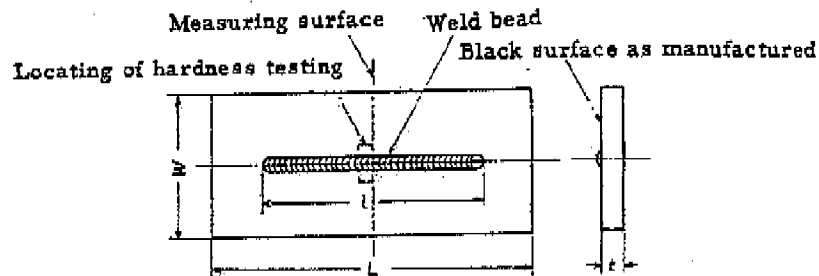


Table 1. Dimension of Test Specimen

Item	Unit: mm		
	L	W	t
No. 1 test specimen	200 approx.	75 approx.	125 ± 10
No. 2 test specimen	200 approx.	150 approx.	125 ± 10

Applicable Standards:

JIS B 7725-Vicker's Hardness Testers

JIS Z 2244-Method of Vicker's Hardness Test

2.2 No. 1 test specimen is used when welding is done at room temperature, and No. 2 test specimen is used when welding is done with preheating.

2.3 The side faces of test specimen can be left as flamed cut.

3. Welding

3.1 As indicated in Fig. 1, a string bead of 125 ± 10 mm long is laid on the centre of black surface of test material.

3.2 The covered electrode shall, as a rule, be of 4 mm diameter and of quality suitable for welding of test material.

3.3 The surface of material before welding shall be left in black state as manufactured, removing by suitable means, oil, rust, excessive scale, moisture etc., which are harmful for welding.

3.4 The test material shall be supported at both ends of the longitudinal direction and leaving a sufficient air space under the reverse face.

3.5 The temperature of test material just before welding shall be at the room temperature for No. 1 test specimen and the preheating temperature for No. 2 test specimen.

3.6 The welding condition shall, as a rule, conform to the following:

Welding current 170 ± 10 A. Welding speed 15 ± 1 cm/min.

3.7 No heat treatment whatever shall be permitted to the test specimen after welding.

4. Measurement of Hardness

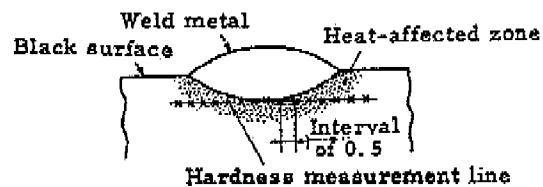
4.1 The taking of piece for measurement of hardness shall be made at least 12 hours after welding, and the measurement of hardness shall be made as soon as possible after taking the piece.

4.2 The piece for measurement of hardness shall be made at the room temperature by machine cutting the test specimen through the centre of the bead at right angle as indicated in Fig. 1, and one side of the cutting shall be used. Care should be taken at this time to see that the maximum hardness of measuring surface shall not be lowered by temperature rise during the process of cutting, which shall be prevented by cooling the surface.

4.3 The piece for hardness measurement shall be prepared after polishing and corroding the cut surface to enable macrostructure to see. As indicated in Fig. 2, the measurement of hardness at room temperature by Vicker's hardness tester under the load of 10 kg shall be made along the straight line at the bottom of weld metal parallel to the black surface in intervals of 0.5 mm. The measuring points shall be more than 7 at right and left respectively of the contact point, and let the the greatest of the measured value be the maximum hardness required.

Fig. 2. Particulars of Hardness Measurement

Unit: mm



4.4 The equipment used for hardness measurement shall be specified in JIS B 7725-Vicker's Hardness Testers, and the other than those stipulated in 4.3 shall be accorded with JIS Z 2244-Method of Vicker's Hardness Test.

5. Recording

5.1 The hardness of each point measured must be recorded.

5.2 The temperature of test material just before welding, welding current, arc voltage and welding speed must be recorded.